

Principios Básicos de la Energía Solar

Nicolás González I., Marco Rivera A.

Laboratorio de Conversión de Energías y Electrónica de Potencia - LCEEP

Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca

Email: ngonzalez17@alumnos.otalca.cl, marcoriv@otalca.cl

www.marcorivera.cl

Resumen

En términos de energía renovable, la energía solar es la dirección más prometedora para la producción de energía eléctrica. Para el uso eficiente de la energía solar es necesario entender cómo la energía eléctrica se produce a partir del sol. En este documento se presenta la información sobre los principios básicos de la energía solar, obtenida de búsqueda bibliográfica, con el fin de lograr el entendimiento básico de como se genera la energía solar.

1. Introducción

Fuera de la atmósfera, la densidad promedio de potencia a causa de la radiación solar asciende a aproximadamente $1366 [W/m_2]$, de esta el 30 % es reflejada, un 20 % es absorbida por nubes y partículas del aire, por lo cual se pierde prácticamente la mitad de la potencia al momento de llegar a la Tierra [1]. No obstante, la energía que llega al planeta es más que suficiente para poder producir electricidad útil para toda la población del planeta.

La energía solar, por sus características de producción, amigabilidad con el medio ambiente, pocas repercusiones a nivel poblacional, entre otras, es óptima para ser desarrollada a futuro, por lo cual es importante conocer sus características de cara a las nuevas tendencias que se generarán próximamente. Una de las características básicas que es necesario saber es acerca de la física de los semiconductores, entendiendo a nivel atómico como es que éstos trabajan, claro está que dicho análisis no debe ser más allá del básico para entender como trabaja un panel solar. En conjunto con lo anterior, la óptica de los semiconductores es interesante de analizar ya que un panel solar utiliza las características ópticas de la luz para emitir la energía eléctrica.

2. Física y óptica de los semiconductores

Según el modelo mecánico-cuántico de los átomos, existen distintos niveles energéticos en los cuales pueden ubicarse los electrones alrededor del núcleo. A modo de ejemplo: el silicio (Si) posee un número atómico de 14, es decir, posee 14 electrones, si estos se distribuyen en los distintos niveles de energía, los mismos se comenzarían a llenar progresivamente, sin embargo, el nivel 3 no consigue llenarse por completo, por lo cual quedan 4 electrones que permiten el enlace con otros átomos.

A estos 4 electrones ubicados en el último nivel, se les conoce como “Electrones de Valencia”, y al mencionado nivel como “Banda de Valencia”. Dependiendo de si un material es conductor, semiconductor o aislante, las bandas de Valencia y de conducción se encuentran a una determinada distancia, cumpliendo que mientras más cercanas estén, mejor conductividad poseen, llegando al punto en que cuando se encuentran solapadas un material es conductor, cuando están a una distancia pequeña es un elemento semiconductor y cuando están muy separadas es un aislante; la distancia que separa ambas bandas se suele denominar “banda prohibida”. Es importante además mencionar que un semiconductor, que es el tipo de elemento que es de gran interés en el área de la electricidad, conduce más que un aislante pero menos que un conductor, pudiendo obtenerse propiedades, características y aplicaciones de gran relevancia dentro de la industria.

Debido a la implicancia de materiales semiconductores dentro de la energía solar (principalmente su uso en paneles), es que este tipo de materiales es de gran importancia. Dentro de un material semiconductor se encuentra principalmente un enlace de tipo covalente, en el cual 2 átomos vecinos comparten un electrón de su capa de valencia para que cada uno de ellos pueda lograr estabilidad atómica, lo que se traduce en completar su última capa (como los gases nobles), haciendo que dicho electrón forme parte de las capas de valencia de 2 átomos distintos. A modo de ejemplo, el átomo de silicio mencionado anteriormente poseía 4 electrones de valencia, por lo cual necesita de 4 más para completar su último nivel y estabilizarse, es por ello que dicho átomo comparte electrones con 4 átomos más de silicio, logrando su estabilidad; a su vez, cada uno de dichos átomos comparte electrones con 4 más, generando una estabilidad a nivel molecular [2].

Es necesario mencionar que se reconocen 2 tipos de semiconductores: los intrínsecos y los extrínsecos. Los semiconductores intrínsecos son aquellos en los cuales no se agregan impurezas en su estructura molecular, por ejemplo los hallados en los grupos II B, III A, IV A, V A y VI A de la tabla periódica. Mientras que los semiconductores extrínsecos son aquellos a los cuales se les agregan átomos de otro material (“impurezas”), mediante las cuales se modifican sus características. El principio básico de operación de los semiconductores, es que debido a que la energía de la banda prohibida (alrededor de 1eV) no es tan elevada, cuando hay energía térmica pueden saltar electrones de la banda de valencia a la banda de conducción.

Los semiconductores extrínsecos, como bien se decía, son aquellos a los que se les adicionan átomos de algún otro elemento (impurezas), con el fin de obtener una diferencia entre la cantidad de huecos y electrones disponibles en las bandas de conductividad y de valencia [2]. Dentro de los semiconductores dopados se encuentran los tipo P y los tipo N. Los primeros se dopan haciendo que exista una gran cantidad de huecos, es decir, lugares a los cuales puede transferirse un electrón; mientras que los semiconductores de tipo N se dopa de forma tal que existan electrones “libres” dentro del material. Esta característica mencionada es la que permite la generación de energía mediante paneles fotovoltaicos.

El Principio Fotoeléctrico, este fue descubierto el año 1887 por Heinrich Hertz. Este efecto se produce cuando un material absorbe radiación electromagnética y libera una partícula eléctricamente cargada, lo cual se traduce en la absorción de luz por parte de un metal, el cual libera un electrón. Un concepto importante a entender es el de la frecuencia umbral, el cual hace referencia a la mínima frecuencia que la radiación incidente debe tener para lograr la liberación del electrón [3]. Un aumento en la frecuencia de la radiación incidente hace que los electrones salgan expulsados más rápidamente, mientras que un aumento en la intensidad de la misma solo hace que se expulsen una mayor cantidad de electrones.

3. ¿Cómo funciona una celda solar?

Una celda solar basa su funcionamiento en la fotoconductividad, esto quiere decir que cuando un fotón de la luz irradiada sobre el panel solar es absorbido por el semiconductor presente en este último, se excitará un electrón en la banda de conducción para pasar a la banda de valencia y generar una corriente eléctrica [4]. Para lograr el flujo de electrones, en las celdas solares se utiliza la unión de dos materiales, los cuales se denominan cristales tipo P y cristales tipo N. Normalmente el elemento base es el silicio, al cual se le agregan átomos de otros elementos para lograr la construcción de los cristales mencionados, por lo que también suele llamárseles silicio tipo P y silicio tipo N:

- Cristales tipo P: se produce agregando átomos, como el boro o el galio, que tienen un electrón menos en su nivel de energía exterior que el silicio. Debido a que el boro tiene un electrón menos de lo que se requiere para formar los enlaces con los átomos de silicio circundantes, se crea una vacante de electrones o “hueco” [5].
- Cristales tipo N: se fabrica al incluir átomos que tienen un electrón más en su nivel exterior que el silicio, como el fósforo. El fósforo tiene cinco electrones en su nivel de energía exterior, no cuatro. Se une con sus átomos vecinos de silicio, pero un electrón no está involucrado en el enlace. En cambio, es libre de moverse dentro de la estructura de silicio [5].

Al manufacturar una celda solar, se unen capas de cristales tipo P, con exceso de huecos, y capas de cristales tipo N con exceso de electrones. En la unión de ambas capas existe una zona denominada

zona de agotamiento, en la cual los electrones del silicio tipo N se mueven hacia el tipo P. Cuando en esta zona todos los huecos se llenan, el cristal tipo P inicial contiene iones cargados negativamente, mientras que el cristal tipo N original contiene iones cargados positivamente; al existir dichos iones de carga opuesta se genera un campo eléctrico que impide que el resto de electrones restantes en la capa N, fuera de la zona de agotamiento, se trasladen y llenen los huecos del cristal tipo P.

La luz solar debe ser irradiada sobre el cristal tipo N, al hacer esto, y mediante el principio fotoeléctrico descrito anteriormente, se “romperán” los enlaces covalentes entre átomos que se han desarrollado en la zona de agotamiento, haciendo que existan más electrones libres en el cristal N, lo cual corresponde a un aumento de la diferencia de potencial entre el cristal tipo P (con huecos) y el tipo N (con electrones). A mayor irradiación, se romperán más enlaces, produciendo que con esto aumente la cantidad de electrones libres y el potencial aumente. Es importante también considerar que mientras más ancha sea la zona de agotamiento, la celda solar tendrá un mayor aporte de electrones libres. Para ilustrar esto se muestra la Figura 1

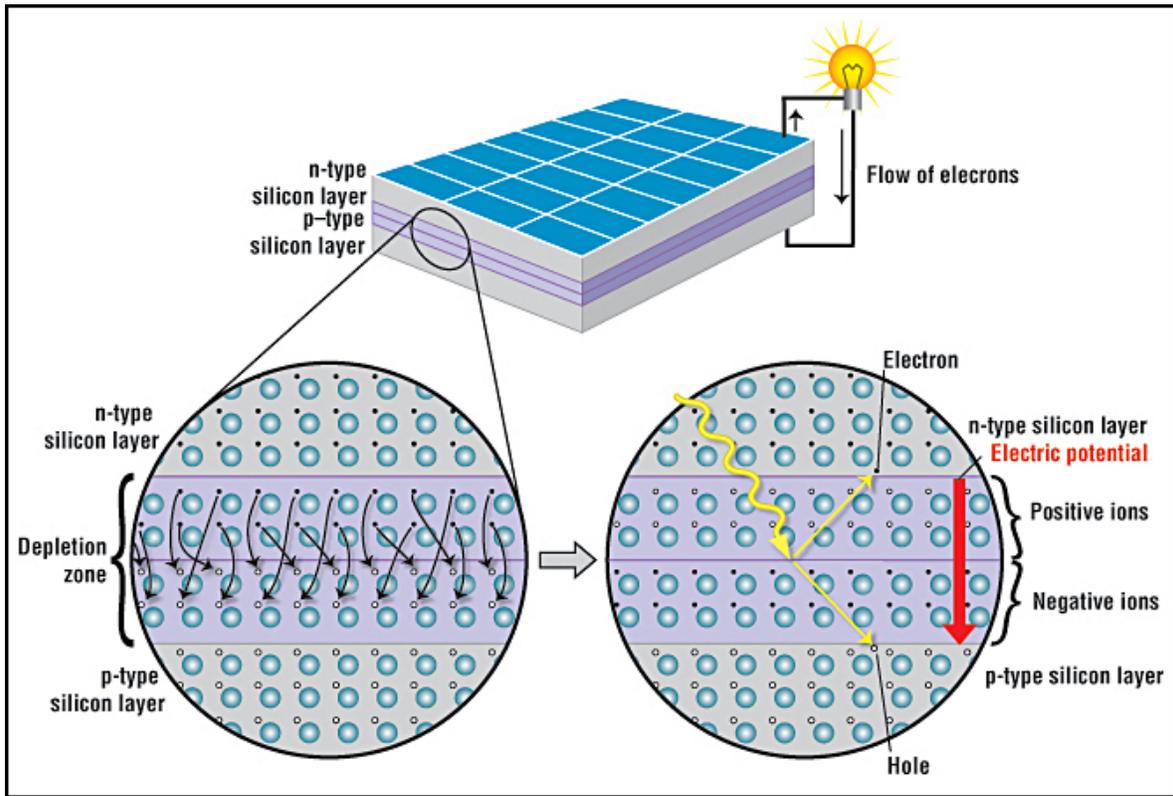


Figura 1: Efecto fotoeléctrico en celdas solares.

Además del principio básico de funcionamiento de las celdas fotovoltaicas, es necesario además definir sus características eléctricas. Para lo anterior debe definirse que un panel solar funciona, en términos de corriente, de manera similar a un diodo, por lo cual su expresión queda como:

$$I = I_D = I_0(T) \left(e^{\frac{q_E V}{K_B T}} - 1 \right) \quad (1)$$

En esta ecuación, I_d corresponde a la corriente de un diodo, $I_o(T)$ corresponde a la corriente inversa de saturación del diodo, q_E es la carga de un electrón, V es la tensión, K_B es la constante de Boltzmann y T corresponde a la temperatura (de la cual depende $I_o(T)$).

Es debido mencionar que a causa de la iluminación se genera una corriente denominada fotocorriente, la cual se expresa con I_L , correspondiente a una corriente paralela al diodo (el término diodo hace referencia a la unión de los semiconductores P y N). En base a esto último, es que la expresión final para la corriente de salida de la celda corresponde a:

$$I = I_L - I_d = I_L - I_0(T) \left(e^{\frac{q_F V}{k_B T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Además de los parámetros anteriores propios de un diodo, existen además resistencias equivalentes a características de la celda, como R_s que corresponde a la resistencia de la malla de metalización, de los contactos y del semiconductor, también está R_p correspondiente a la resistencia causada por imperfecciones en la unión de los dos tipos de semiconductores utilizados. Con lo anterior la ecuación que define una célula fotovoltaica real es:

$$I = I_L - I_0(T) \left(e^{\frac{q_F (V + R_s I)}{\eta_1 k_B T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (3)$$

4. Conclusiones

En este documento se presentó la base de la generación solar, permitiendo entender como funciona una celda solar, qué es el efecto fotoeléctrico y cuales son sus características eléctricas. Además, se presentó desde una visió física el funcionamiento de una celda solar. Con esto y con la variedad de fórmulas que caracterizan a una celda solar, es posible comenzar a comprender como funcionan estos dispositivos y porqué pueden generar energía a partir de la radiación solar.

Referencias

- [1] C. J. Chen, *Physics of Solar Energy*. Columbia, USA: Wiley, 2011.
- [2] J. Leñero, *Fundamentos de la electrónica y los semiconductores*. Cádiz, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2019.
- [3] LibreTexts Chemistry, “Photoelectric effect.” [Online]. Available: <https://bit.ly/3Vdv3bw>
- [4] D. Rojas, M. Rivera, and P. Wheeler, “Basic principles of solar energy.”
- [5] ACS: Chemistry for Life, “How a solar cell works.” [Online]. Available: <https://bit.ly/2BOctR7>