

CAPITULO 3

LA CELDA

FOTOVOLTAICA

FOTOVOLTAICO La palabra fotovoltaico(a) está formada por la combinación de dos palabras de origen griego: *foto*, que significa luz, y *voltaico* que significa eléctrico. El nombre resume la acción de estas celdas: transformar, directamente, la energía luminosa en energía eléctrica.

CONDUCTORES Para que el lector tenga un conocimiento conceptual del fenómeno FV introduciremos el concepto de material semiconductor y juntura N-P. Comenzaremos estableciendo que un material conductor, como el cobre o el aluminio, permite el fácil paso de una corriente eléctrica porque tiene un gran número de cargas libres dentro del mismo. Un material es un no-conductor (aislador), como el vidrio o el plástico, porque no tiene cargas libres dentro de él. El silicio es el material más usado en la fabricación de celdas solares. En su forma cristalina pura, es un semiconductor, con muy pocas cargas libres dentro de él. Su resistividad es muy elevada. Usando un proceso llamado de difusión se puede introducir pequeñas cantidades de otros elementos químicos, los que permiten decrecer el valor inicial de la resistividad, creando, al mismo tiempo, zonas con diferentes tipos de carga. La celda FV utiliza dos tipos de materiales semiconductores, el tipo N y el tipo P.

TIPO N Cuando la substancia difusa cede fácilmente electrones, se crea una zona dentro del semiconductor que tiene un *exceso de cargas negativas* (electrones). Esto es lo que se conoce como semiconductor del tipo N (negativo).

TIPO P Cuando la substancia difusa atrapa electrones libres, los átomos que los pierden quedan cargados positivamente. En esta zona *predominan las cargas positivas* (*holes*, en inglés) obteniéndose un semiconductor del tipo P (positivo).

JUNTUTA N-P El proceso de difusión es continuo, permitiendo la formación, en el mismo material, de dos zonas semiconductoras adyacentes, una del tipo N; la otra del tipo P. El espacio que separa ambas zonas es la juntura de transición (*junction*, en inglés).

ESTADO DE EQUILIBRIO La teoría muestra que las cargas mayoritarias en una zona se desplazan hacia la de baja densidad en la zona opuesta. El desplazamiento de las cargas negativas y positivas deja a la zona de la juntura totalmente libre de cargas. Las zonas adyacentes a la misma tienen concentraciones de carga minoritarias (cargas negativas en el lado P y cargas positivas en el lado N). La acumulación de estas cargas a ambos lados de la juntura crea una diferencia de voltaje que impide la continuación del desplazamiento inicial.

La *corriente de desplazamiento se anula*. Se dice entonces que la juntura N-P ha alcanzado el estado de equilibrio, el que es ilustrado en la Fig. 3.0.

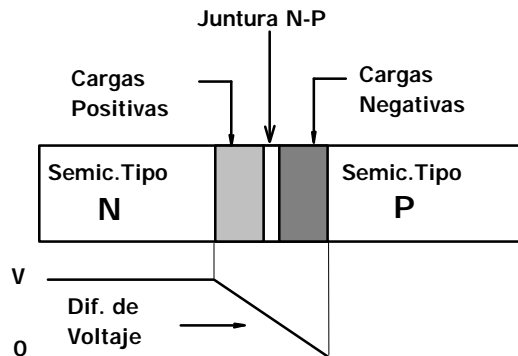


Fig. 3.0- Juntura N-P en Equilibrio

EL FENOMENO FOTOVOLTAICO

Cuando la luz incide sobre un semiconductor de este tipo, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de selenio creando dos cargas libres, una positiva y otra negativa. El equilibrio eléctrico de la juntura N-P se ve alterado por la presencia de estas nuevas cargas libres. Si al semiconductor se le conectan dos cables (uno por cada zona), se verifica la existencia de un voltaje entre los mismos. Si los terminales de la celda PV son conectados a una carga eléctrica, circulará una corriente eléctrica en el circuito formado por la celda, los cables de conexión y la carga externa. La Figura 3.1 muestra este tipo de circuito. Sólo una parte del espectro luminoso puede llevar a cabo la acción descrita. El material utilizado para fabricar el semiconductor determina que parte del espectro luminoso es la óptima para provocar este desequilibrio.

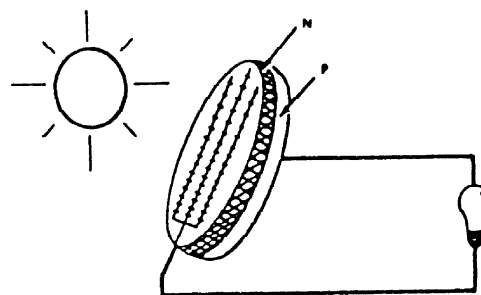


Fig. 3.1- Celda Fotovoltaica con Carga Eléctrica

VOLTAJE DE SALIDA

El voltaje de una celda FV es de corriente continua (CC). Por lo tanto, hay un lado que es positivo y otro negativo. Para celdas de selenio, este voltaje es de alrededor de 0,5 V.

POTENCIA ELECTRICA DE SALIDA

En un instante determinado, la potencia eléctrica proporcionada por la celda FV está dada por el producto de los valores instantáneos del voltaje y la corriente de salida. Este valor es afectado por el comportamiento intrínseco de un material semiconductor, como veremos en el capítulo próximo, por el nivel de irradiación luminosa, y el método de fabricación de la celda.

La intensidad luminosa depende, como vimos al tratar la insolación, de los factores meteorológicos, locación, inclinación de la celda respecto a la horizontal, y las variaciones estacionales en el lugar de utilización.

**MATERIAL
CRISTALINO
Y
POLI-
CRISTALINO**

Las celdas FVs que se ofrecen en el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores. Uno tiene una estructura cristalina uniforme, el otro una estructura policristalina. El tipo cristalino requiere un elaborado proceso de manufactura, que insume enormes cantidades de energía eléctrica, incrementando substancialmente el costo del material semiconductor. La versión policristalina se obtiene fundiendo el material semiconductor, el que es vertido en moldes rectangulares. Su estructura cristalina *no es uniforme*, de ahí el nombre de poli (muchos) y cristalino (cristales). Los dos tipos pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee una superficie de brillo uniforme, mientras que la policristalina muestra zonas de brillo diferente. Las Figs. 3.2 y 3.3 muestran esta diferencia.

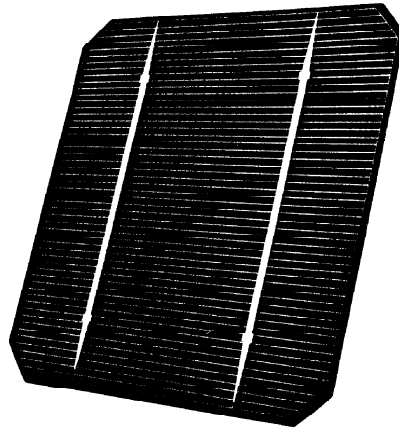


Fig. 3.2
Material Cristalino

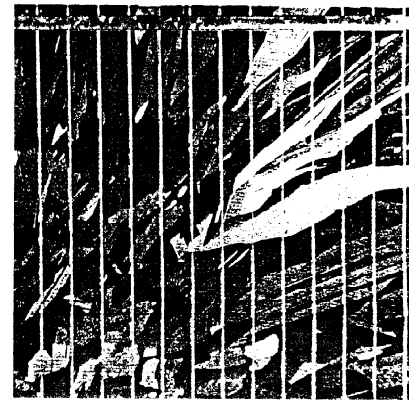


Fig.3.3
Material Policristalino

**EFICIENCIA
DE
CONVERSION**

La eficiencia de conversión es la relación entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa utilizada para obtenerla. Esta relación es dada en forma porcentual, como se muestra a continuación:

$$\eta \% = \frac{\text{Energía Generada}}{\text{Energía Incidente}} \times 100$$

El símbolo η es la letra griega nu, que es usualmente utilizada para expresar eficiencias. En el presente, celdas FVs producidas en escala industrial tienen una eficiencia de conversión que oscila entre un 9 y un 12 %. El valor teórico máximo para la eficiencia de una celda FV *que responde solamente a un rango reducido del espectro luminoso*, es de alrededor del 25 al 28%, dependiendo del material semiconductor. Las celdas FVs que utilizan semiconductores cristalinos tienen una eficiencia mayor a las que utilizan el semiconductor policristalino, debido a que las imperfecciones en la estructura de este último disminuyen el número de pares de carga que quedan libres para conducir la corriente. Las celdas FVs usadas en los satélites espaciales utilizan, exclusivamente, semiconductores cristalinos, ya que el costo no es un factor en consideración.

CAPITULO 3- LA CELDA FOTOVOLTAICA

Cuando el uso espacial se convirtió en uso terrenal, los semiconductores policristalinos permitieron una reducción substancial del costo de las celdas FVs. Los procesos de fabricación que usan materiales semiconductores no-cristalinos (policristalinos o amorfos) prometen ser la solución más económica en el futuro. La competencia entre tecnologías genera nuevos métodos de fabricación a menores costos.

SUPERFICIE ACTIVA Esta es la parte del area total de la celda FV que interviene en el proceso de conversión. En la actualidad, es común que la conexión a uno de los materiales semiconductores sea hecha usando diminutos trazos metálicos en la parte frontal (area expuesta al sol). Este proceso resulta en una disminución del area activa de la celda. Algunas realizaciones experimentales tienen el conecionado a las zonas N y P del semiconductor en la parte posterior de la celda. Este proceso de fabricación incrementa el área activa de la celda, sin aumentar la superficie de la misma.

FORMA GEOMETRICA El método de fabricación determina, asimismo, la forma geométrica de la celda FV. Las primeras versiones eran circulares. Versiones más recientes tienen forma cuadrada, ya sea con vértices redondeados o a 90°. En el capítulo siguiente se explica porqué esta configuración geométrica es más conveniente.

MATERIAL ANTI-REFLECTANTE De no ser tratada, la superficie del material semiconductor que está expuesta a la luz incidente tiende a reflejar una porción de la misma, disminuyendo la cantidad de energía luminosa que puede llegar al par semiconductor. Para evitar esta pérdida, el fabricante deposita una finísima capa de material antireflectante.

MATERIAL AMORFO Algunos paneles FVs no tienen celdas independientes conectadas entre sí, sino una estructura semiconductor que ha sido depositada, en forma continua, sobre una base metálica laminar. Este proceso permite la fabricación de un panel FV flexible, el que puede adaptarse a superficies que no son completamente planas. La superficie activa de estos paneles no tiene una estructura cristalina, y por ello se la denomina amorfa (a = sin; morfos = forma). La ausencia de una estructura cristalina aumenta la posibilidad de que una carga libre sea atrapada, lo que se traduce en una menor eficiencia de conversión. Recientemente la compañía United Solar Systems ha introducido un panel de este tipo bajo el nombre Uni-Solar. Para compensar el bajo rendimiento de conversión, este panel apila tres capas de material amorfo. Cada una de ellas responde a un distinto rango de frecuencias dentro del espectro visible de la luz solar. El más profundo responde al rojo, el del medio al verde, y el de arriba al azul. Como la eficiencia total sigue siendo más baja que la de un panel con celdas cristalinas o policristalinas, la superficie activa requerida para obtener una determinada potencia de salida es siempre mayor. Estos paneles adquieren rigidez mecánica mediante el uso de una placa de acero en la parte posterior, un laminado plástico de protección en el frente y un marco metálico de aluminio.

NOTA Una característica sumamente útil de estos paneles es su comportamiento a altas temperaturas de trabajo. El Capítulo 4 transcribe los datos de evaluación efectuados por la revista Home Power, la que muestra la inexistencia de una degradación en la potencia de salida en este tipo de paneles.