



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Dispositivos semiconductores como detectores de
partículas**

**Tomás Ricardo Basile Álvarez
316617194**

ASIGNATURA

Laboratorio de Electrónica. Grupo 8285

8 de noviembre de 2021

Introducción

Un **detector semiconductor** es un dispositivo que utiliza las propiedades de materiales semiconductores para detectar partículas cargadas o fotones que inciden sobre él. Existen muchos tipos de detectores semiconductores según qué es lo que se quiera medir y han sido utilizados por varios años en física nuclear y de partículas para la detección de radiación y de partículas.^[1]

En términos generales, y como veremos más adelante para los ejemplos que exploremos, cuando incide radiación sobre un semiconductor detector, se producen electrones y huecos libres. Estas cargas libres se producen porque recibieron energía suficiente como para pasar de la banda de valencia a la de conducción. La cantidad de estas cargas libres está relacionada con la energía de la radiación que incidió sobre el semiconductor en primer lugar, por lo que medir estas cargas libres nos permite obtener información sobre la radiación detectada.^[2]

Además, los detectores semiconductores son populares ya que en este proceso se genera un gran número de cargas libres por cada unidad de energía perdida por la radiación incidente. Esto permite medir con buena precisión la energía de la radiación.^[1]

Algunos dispositivos semiconductores que se usan como detectores

Ahora veremos con un poco más de profundidad el funcionamiento de algunos dispositivos semiconductores que se utilizan usualmente para detectar partículas.

Fotodiodo

Un fotodiodo es un dispositivo semiconductor que transforma luz en corriente eléctrica.^[3]

De esta forma, estos dispositivos se pueden utilizar para medir con precisión la intensidad de luz incidente sobre ellos.

Para entender su funcionamiento, consideramos una unión pn como las que hemos visto en clase. En la frontera del material tipo n y el tipo p se crea la *zona de agotamiento*, zona en la que las cargas libres se han agotado y los únicos elementos restantes son los átomos ionizados de las impurezas de los materiales tipo p y tipo n.

Sin embargo, si esta región se ilumina con luz con suficiente energía, los fotones incidentes pueden causar que los electrones ligados a los átomos de esta zona sean liberados y se creen nuevas parejas de electrones-huecos. La liberación de los electrones debido a la luz incidente se explica por el efecto fotoeléctrico y para que suceda dicha liberación, la energía del fotón (que es igual a $h\nu$ con ν su frecuencia y h la constante de Planck) tiene que ser superior a la energía E_G característica del material para llevar un electrón a la banda de conducción.^[3]

Si como se dijo antes, el fotón incide en la zona de agotamiento, el electrón y el hueco creados se moverán debido al campo eléctrico que se produce en esta región de la unión pn. Es decir, el electrón será movido hacia el cátodo y el hueco hacia el ánodo, produciendo así una corriente que se conoce como **fotocorriente**.^[4]

De esta forma, podemos modelar un fotodiodo como un diodo común pero con una corriente i_{PH} en paralelo al diodo y en sentido contrario a éste. Es decir, lo podemos modelar como se ve en la figura 1.

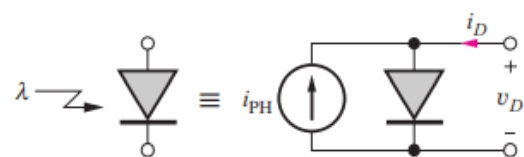


Figura 1: Modelo para el fotodiodo. Obtenida de [3].

En la figura 1 vemos como el fotodiodo es equivalente a un diodo normal pero con una

fuentes de corriente paralela y en sentido opuesto al diodo (dicha corriente es la fotocorriente). Además, podemos dibujar su gráfica de i vs v , la cual se muestra en la figura 2.

En la figura 2 se observa la gráfica de i vs v para el fotodiodo cuando se encuentra iluminado y cuando no. Se puede observar como la gráfica del diodo iluminado se encuentra desplazada verticalmente hacia abajo. Este desplazamiento se debe a la fotocorriente generada por la luz incidente en el diodo, la cual va en dirección opuesta a la dirección en la que el diodo permite el paso de corriente cuando está en polarización directa.

La fotocorriente i_{PH} generada es proporcional a la intensidad de la luz y por lo tanto, el desplazamiento de la gráfica i vs v es proporcional a dicha intensidad.

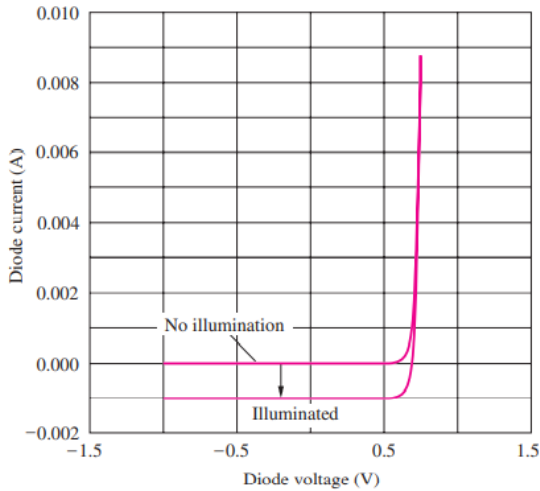


Figura 2: Gráfica i vs v para un fotodiodo iluminado y no iluminado. Obtenida en [3].

El fotodiodo se puede usar en un circuito llamado **circuito fotodetector** el cual se utiliza para convertir una señal de luz en una señal eléctrica. Dicho circuito (en su forma más básica) y su equivalente al reemplazar el fotodiodo por un diodo y una fuente de corriente se muestran en la figura 3.

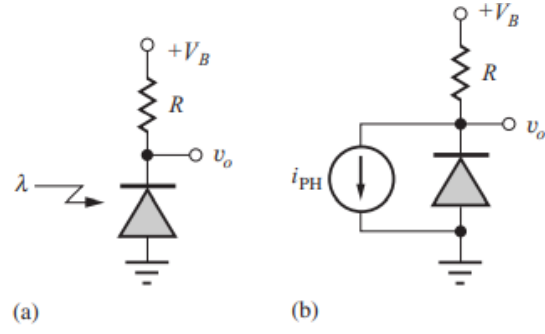


Figura 3: Circuito fotodetector básico (a) y su modelo al reemplazar el fotodiodo (b). Obtenida en [3]

En este circuito, la fotocorriente i_{PH} va a fluir por el resistor R y por tanto genera una señal de voltaje dada por $v = i_{PH}R$.^[3] Como en general i_{PH} es linealmente proporcional a la intensidad de la luz, esto nos permite transformar la señal de la luz incidente en una señal eléctrica.

Fototransistor

Un fototransistor es un dispositivo semiconductor similar al fotodiodo en el sentido que se puede utilizar para detectar luz pero en vez de construirse a partir de un diodo, se hace a partir de un transistor.

En la figura 4a se muestra un dibujo esquemático de fototransistor bipolar. Vemos que al igual que un transistor normal, se construye con dos partes tipo n y una tipo p (para el transistor npn , el pnp se haría al revés).

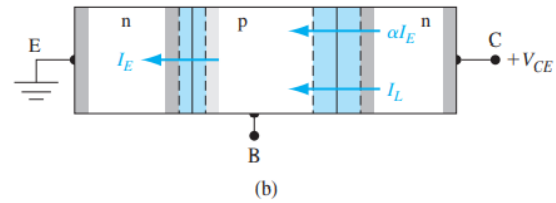


Figura 4: Fototransistor bipolar. Obtenida en [4]

En términos generales la forma en que funciona es muy similar a la del fotodiodo. La diferencia es que ahora tenemos dos zonas de agotamiento (en las intersecciones de un material tipo n con uno tipo p). Al igual que en el diodo, cuando la luz incide sobre una de las zonas de agotamiento, se crea una pareja

electrón-hueco debido al efecto fotoeléctrico y estas partículas cargadas son movidas por el campo eléctrico que existe en la zona de agotamiento.^[4]

Cuando se generan las cargas libres en la zona de agotamiento, los huecos son movidos hacia la zona tipo p y los electrones hacia la zona tipo n . Es decir, se genera una corriente inversa y su intensidad es proporcional a la intensidad de la luz incidente.^[4] Por ello, el fototransistor también tiene las propiedades de un transistor común (que amplifica la intensidad de la corriente eléctrica) con la diferencia que ahora el factor de amplificación depende de la intensidad de la luz incidente sobre el transistor.^[5]

En la figura 5 se presentan las curvas de I_c (corriente del colector) vs V_{ce} (voltaje entre el colector y el emisor) para un fototransistor que recibe distintas intensidades de luz. En la figura se puede observar claramente como conforme aumenta la intensidad de la luz recibida, la corriente del colector también aumenta.

Esta propiedad hace que los fototransistores sean útiles para medir la intensidad de alguna fuente de luz y para transformar señales ópticas en señales eléctricas. Usando fototransistores se pueden implementar sensores de luz que se activen cuando reciben cierta cantidad de luz o cuando dejan de recibir luz.

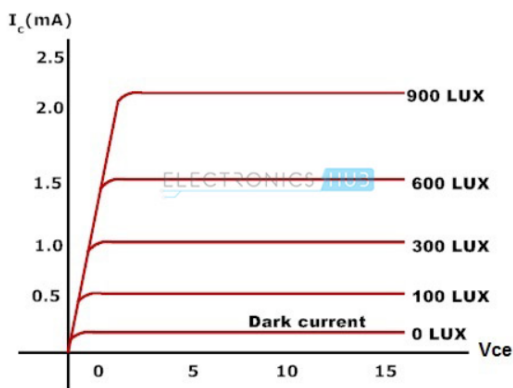


Figura 5: Curvas I_c vs V_{ce} para el fototransistor. Obtenida en [5]

Detector de Silicio

Los detectores de Silicio se utilizan principalmente para detectores de partículas cargadas y radiación ionizante. Estos detectores se suelen construir usando tiras delgadas de silicio dopado.^[6]

Como mencioné, estos dispositivos se suelen utilizar para detectar partículas cargadas eléctricamente. La partícula cargada ingresa al semiconductor y si tiene la energía suficiente, puede ionizar los átomos del semiconductor y producir pares de electrones y huecos. El número de pares de electrones y huecos dependerá de la energía con la que llega la partícula.

Similar a como funciona en el fotodiodo y en el fototransistor, estas partículas cargadas crean una corriente. Además, es importante que el semiconductor se encuentre en polarización inversa para que la única corriente significativa en el material sea la causada por la partícula cargada atravesando el silicio.^[6]

De esta forma, los detectores de silicio son capaces de detectar partículas cargadas y tienen una mayor resolución al seguir el movimiento de éstas que otros detectores como las cámaras de niebla.^[6] Es por esto que los detectores de silicio se usan en colisionadores de partículas para seguir el movimiento de las partículas cargadas.

Conclusiones

En los tres ejemplos mencionados queda clara la gran utilidad de los dispositivos semiconductores para detectar partículas y detectar luz. Esta función de los semiconductores está basada en las propiedades únicas de este tipo de materiales y hace que estén presentes en todo tipo de aplicaciones desde sensores de luz para configurar alarmas en hogares hasta en colisionadores de partículas.

Referencias

- [1] Kolanoski, Hermann, and Wermes, Norbert. Particle Detectors: Fundamentals and Applications. England: Oxford University Press, 2020.
- [2] Knoll, Glenn. Radiation Detection and Measurement Fourth Edition. Ann Arbor: University of Michigan, 2010
- [3] Jaeger, Richard C., and Travis N. Blalock. Microelectronic circuit design. New York: McGraw-Hill, 2010. (Capítulo 3)
- [4] Neamen, Donald A. Semiconductor physics and devices: basic principles. New York, NY: McGraw-Hill, 2012.
- [5] Administrator. “Basics of Phototransistor.” Electronics Hub, 2 Apr. 2019, <https://www.electronicshub.org/basics-of-phototransistor/Introduction>.
- [6] Dijkstra, H. “Overview of Silicon Detectors.” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, vol. 478, no. 1-2, 2002, pp. 37–45., [https://doi.org/10.1016/s0168-9002\(01\)01716-8](https://doi.org/10.1016/s0168-9002(01)01716-8).