

Recibido: 05.01.2022 • Aceptado: 29.08.2022

Palabras clave: Diodos, semiconductores, luz, optoelectrónica, fotónica.

# ¿Cómo se fabrica un LED?

LUCY ESTEFANÍA TAPIA

*lucyestefaniatapia@gmail.com*

JOSÉ GUADALUPE SANTIAGO GARCÍA

*santiago.garciajg@gmail.com*

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN COMUNICACIÓN ÓPTICA, UASLP



Imagen: <https://www.freepik>

Los materiales semiconductores tienen gran importancia por sus aplicaciones en la vida cotidiana. Múltiples dispositivos y sistemas los utilizan, como las tarjetas de memoria de las computadoras, celdas solares, pantallas, láseres y el diodo emisor de luz conocido como LED, son algunos ejemplos.

Los principios utilizados para la fabricación de un diodo emisor de luz (LED, por sus siglas en inglés) son muy similares a los de los láseres, aunque estos últimos son un poco más complejos. La fabricación de dispositivos semiconductores (como los LED o los láseres) es una de las ramas de investigación con las que cuenta el Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (IICO) de la UASLP de la que hablaremos un poco en este artículo.

Si tienen curiosidad sobre qué son los LED y cómo lo-gran emitir luz, los invitamos a que sigan leyendo acerca de la fabricación de un led rojo de arseniuro de galio con aluminio (AlGaAs).

### **¿Qué es un LED y por qué emiten luz?**

Los diodos emisores de luz son pequeños foquitos de colores que se usan en electrodomésticos, juguetes, cámaras o luces navideñas, entre otros (foto 1).

Primero debemos saber exactamente cómo funciona un LED, para ello hay que aclarar que un diodo es la unión de dos materiales semiconductores: uno tipo  $n$  y otro tipo  $p$ . Ambos se forman mediante la adición de un número

predeterminado de átomos de impureza al semiconductor, lo que se conoce como un proceso de dopado. Un semiconductor tipo  $n$  se obtiene añadiendo un cierto tipo de átomos cuya valencia es mayor a la del cristal base para aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso electrones); mientras que para tener un semiconductor tipo  $p$  se añaden átomos cuya valencia es menor a la del cristal, así aumenta también el número de portadores de carga libres (en este caso huecos).

Para entender mejor la estructura de un diodo imaginemos un sándwich de jamón un poco peculiar, donde el pan de arriba es pan de ajo y el de abajo tiene hierbas, cada tapa de pan son materiales que tienen base de harina, la diferencia radica en lo que llamamos “impurezas”, la parte de arriba tiene ajo y la de abajo tiene hierbas, eso hace que, aunque ambas sean pan y de harina, tengan consistencias y sabores diferentes, algo similar pasa con los diodos, son pequeños sándwiches con “panes de harina” de GaAs que tienen un material negativo (tipo  $n$ ) “el ajo” y otro positivo (tipo  $p$ ) “las hierbas”, el jamón es la parte activa del diodo y en donde los electrones se recombinan emitiendo luz.



Foto 1.  
LED en luces navideñas

La recombinación de los electrones del material tipo  $n$  con los huecos del tipo  $p$  genera una región en la que se lleva a cabo el proceso de excitación y emisión, donde los electrones pueden pasar de un nivel energético superior a otro inferior más estable, es así como liberan energía en forma de fotones.

En otras palabras, para que un diodo emita luz, es necesario que los electrones que se encuentran en la banda de valencia sean excitados, ya sea por luz (la parte interna de los diodos también emite luz si se les apunta con luz del color correcto) o por una corriente (como

usualmente los usamos, por ejemplo al conectar una serie navideña sus LED encienden emitiendo luz), y pasen a la capa de conducción; después regresan a su estado inicial (la capa de valencia) y liberan un fotón, éste tiene una energía igual a la de la banda de energía prohibida del semiconductor, ya que es la brecha que separa las bandas de valencia y conducción. Dicho proceso puede observarse de manera esquemática en la figura 1. El tamaño de esta brecha energética depende de los materiales de los que está hecho el LED, significa que para tener LED de distintos colores se requieren distintos materiales. En nuestro caso queríamos que el LED emitiera en rojo, por lo que utilizamos AlGaAs.

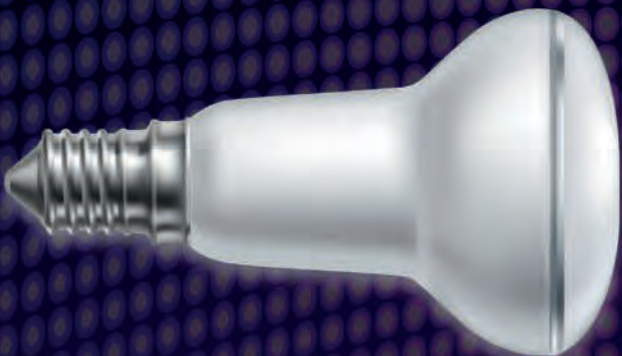
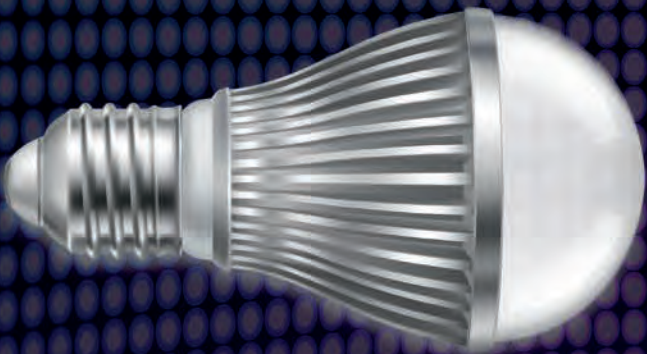
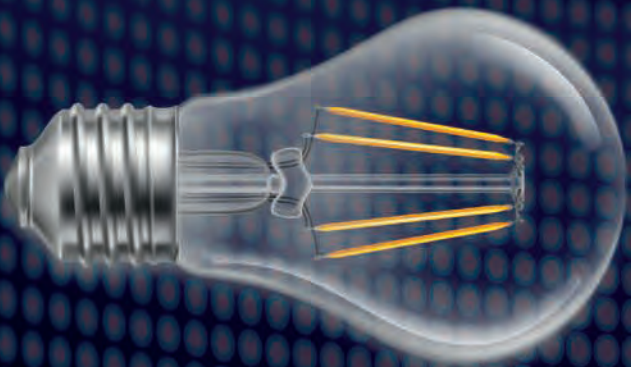
### ¿Cómo se hace un LED?

Uno de los métodos para la fabricación de los LED y láseres es el conocido como epitaxia por haces moleculares (MBE, por sus siglas en inglés). Este consiste en el depósito de capas semiconductoras muy delgadas (del orden de Ångstrom) mediante evaporación en ultra alto vacío sobre un sustrato. Existen varios tipos de epitaxias, como la fase líquida y gaseosa, nosotros utilizamos el de MBE (foto 2).

En el laboratorio de MBE del IICO actualmente se realizan crecimientos de pozos cuánticos y láseres. Además, se estudia el proceso de crecimiento epitaxial a través de sondas ópticas como reflectancia diferencial. Se desea conocer de manera precisa la forma en que los átomos se acomodan en capas para formar los materiales y crecer dispositivos cada vez más complejos.

Al proceso de fabricación de un semiconductor se le llama crecimiento, ya que se van depositando capas de material una sobre otra, haciendo que este “crezca” poco a poco. El crecimiento epitaxial por haces moleculares se realiza en una cámara que contiene el sustrato (la base semiconductor sobre la que se va a hacer el LED) y una serie de celdas que contienen los elementos a depositar, incluyendo los dopantes. La temperatura y la presión de cada elemento deben ser controladas rigurosamente, ya que de estas depende la concentración que se tendrá de cada elemento depositado. La elección de los materiales que se van a depositar y la concentración de estos depende de la longitud de onda que se desee tener, es decir, determinan el color de la luz que emitirá el diodo.

# Científicos que ayudaron en la invención y desarrollo de los LED



1907 Henry Joseph Round, ingeniero inglés, fue el primero en describir la electroluminiscencia. Él aplicó 10 voltios entre dos puntos sobre un cristal de carborundo, el cristal emitió una luz amarillenta.



1927 Oleg Vladimirovich Lósev, técnico de radio ruso, basándose en las observaciones de Henry Joseph Round, contruyó un diodo de cristal con óxido de zinc y carburo de silicio que emitía fotones cuando pasaba una corriente a través de él.



1962 Nick Holonyak, ingeniero estadounidense, desarrolló el primer diodo emisor de luz de espectro visible práctico, usó cristales de fosforo de arseniuro de galio y la luz que se produjo era de color rojo intenso, a partir de entonces este descubrimiento empezó a producirse en la industria.



Los LED son dispositivos semiconductores que emiten luz, su funcionamiento fusiona la electrónica y la fotónica.



Consumen entre 80 y 90 % menos energía que los focos convencionales.



Su vida promedio es de 45 000 horas, mientras que la de los focos es de 2000.

Tapia y Santiago (2022). *Universitarios Potosinos* 268, pp. 13-19.

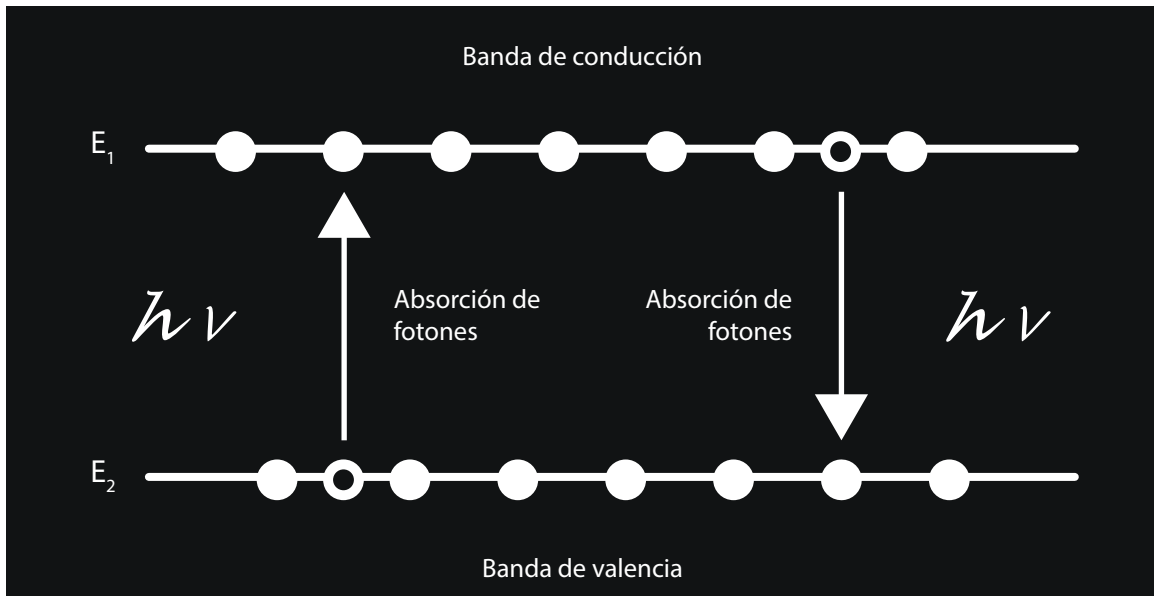


Figura 1.  
Esquema absorción y excitación

Durante el proceso es muy importante controlar el tiempo de crecimiento de cada capa del diodo para tener el grosor deseado. Este control se logra gracias al análisis en tiempo real de la velocidad de deposición de material mediante un haz de electrones de alta energía enfocado hacia la muestra en crecimiento, este haz es reflejado en el sustrato que a su vez actúa como una rejilla de difracción; los patrones de difracción van cambiando conforme se deposita el material, lo que permite graficar máximos y mínimos de rugosidad (es el conjunto de irregularidades que posee una superficie). La gráfica es conocida como patrón de oscilación RHEED y permite determinar la velocidad de depósito.

Todos estos mecanismos son utilizados en muchas de las industrias que fabrican dispositivos ópticos a gran escala.

### Fabricación del primer diodo

Después de conocer a grandes rasgos el laboratorio de MBE se creció un primer diodo. Su diseño fue simple (se esquematiza en la figura 2), un sustrato de GaAs sobre el que se crece una capa colchón del mismo material (después de haber evaporado óxidos naturales) para uniformizar la superficie donde se forma la unión *p-n*, la cual consiste en una capa de AlGaAs dopada con silicio y la región tipo *p* también de AlGaAs pero dopada con berilio. Las temperaturas y las presiones de los materiales fueron calculadas al establecer primero la longitud de onda

deseada y luego la concentración de aluminio, la cual se esperaba fuera del 37 por ciento para tener una longitud de onda correspondiente al rojo. La presión es importante porque es una medida de la cantidad de material que está saliendo de la celda correspondiente. El tiempo total del proceso dura entre 10 y 12 horas.

Después de retirar el diodo de la cámara de crecimiento se partió en tres partes (a este procedimiento de cortar un semiconductor se le llama clivar). Una de ellas se rebajó hasta obtener un grosor de 200 micras; posteriormente, se sometió a un tratamiento químico para mejorar la superficie y mediante una técnica de evaporación se le adhirieron contactos de oro.

### Pruebas de funcionamiento

Una vez que ya se ha crecido un LED, hay que ver que funcione. Para esto se realizan pruebas de caracterización, como las siguientes:

### Fotoluminiscencia

Una forma rápida de saber si un diodo está emitiendo y en qué longitud de onda lo hace es la prueba de fotoluminiscencia. Esta consiste en excitar el diodo con un láser. Se enfoca la luz del láser en el LED fabricado, de esta manera la luz que le llega excita al diodo produciendo que este emita, utilizando un monocromador se identifica la longitud de onda de la emisión del LED.

Al realizar esta prueba a temperatura ambiente se obtuvo la gráfica de intensidad de señal contra longitud de onda de la figura 3. Se observó un máximo en una longitud de onda de 678 nanómetros (nm), lo que corresponde a una emisión en color rojo.

Las pruebas de fotoluminiscencia se realizan en un laboratorio especializado, comúnmente utilizado para caracterizar materiales semiconductores, ya que como mencionamos, al conocer la emisión de un semiconductor pueden conocerse otras de sus propiedades como el grosor o concentración.

### Electroluminiscencia

La segunda prueba es para ver si un LED puede emitir al aplicarle una corriente (como los LED comerciales que se utilizan en aplicaciones electrónicas). Para esto utilizamos el diodo al que se le habían hecho los contactos de oro.

Este experimento consiste en inducir una corriente al diodo, se espera observar la emisión y poder enfocarla a un monocromador para identificar la longitud de onda; sin embargo, al hacer las pruebas con nuestro diodo no se observó la emisión.

Se realizaron varias modificaciones a la estructura, principalmente se colocaron dos barreras con una concentración más alta de aluminio (67 por ciento), de esta manera se encerró a la unión  $p-n$  para garantizar la recombinación de electrones.

Se repitieron todos los pasos mencionados para el primer diodo y una vez crecido se procedió a la prueba decisiva: electroluminiscencia.

Se clivaron varios chips (se dividió el diodo en partes muy pequeñas) y se colocó uno de ellos en un arreglo que permitió inducir una corriente pulsada para, con la ayuda de un monocromador, medir la longitud de onda de emisión. Se realizaron varias pruebas. La máxima corriente utilizada fue de 1A y se observó la emisión en color rojo. ¡Por fin habíamos obtenido un LED rojo funcional! Y como se clivó, en realidad fueron más de 10 LED iguales.

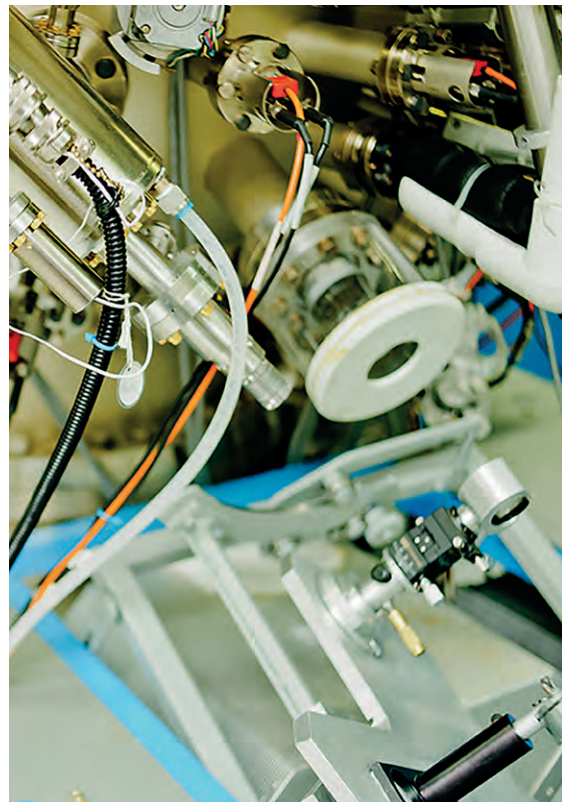


Foto 2.  
Laboratorio de MBE en el IICO

Es doctora en Física por la Universidad de Sheffield, Reino Unido. Actualmente realiza una estancia posdoctoral en el Instituto de Investigación en Comunicación Óptica de la UASLP, dentro del Grupo de Nanofotónica, a cargo del doctor Luis Felipe Lastras Martínez, en donde estudia las propiedades de los semiconductores a través de sondas ópticas.

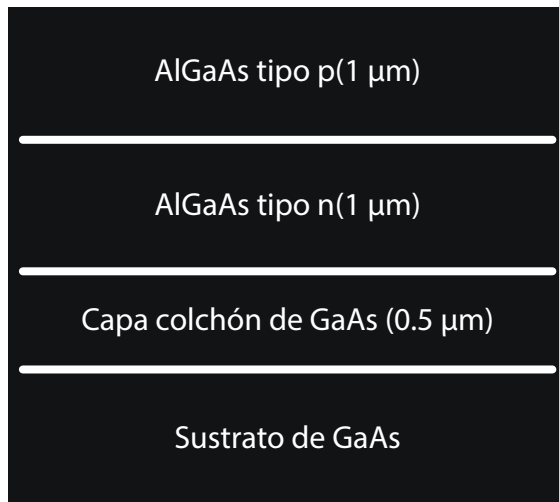
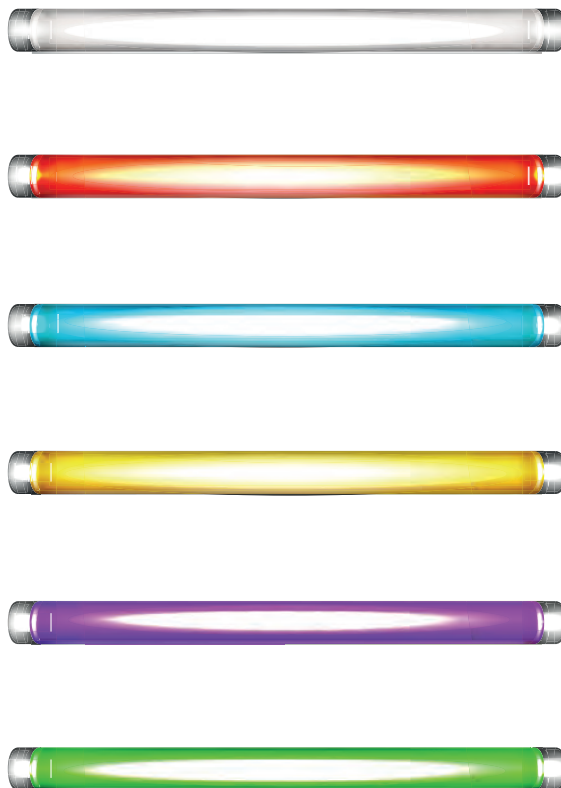



Figura 2.  
Estructura del primer LED



### Para concluir

Los diodos emisores de luz (LED) son fundamentales en nuestra vida actual, tanto que ya no podemos imaginarnos la vida sin ellos. Los vemos en las pantallas led, en los semáforos, en indicadores luminosos en los celulares (como el pequeño foco que enciende cuando se está cargando) e inclusive en la iluminación del hogar.

También son utilizados a gran escala, en naves industriales, iluminación de puentes, estadios, todo esto debido a la alta reducción de costos tanto en fabricación como en consumo eléctrico. Hoy en día nos encontramos rodeados de LED, con ellos se ha logrado una revolución luminosa, por eso es importante reconocerlos y tener una noción de los mecanismos detrás de su funcionamiento.

Por último, hacemos la invitación a aquellos que quieran saber más de temas relacionados con óptica o materiales a visitar la página de facebook del IICO UASLP y el sitio web [www.iico.uaslp.mx](http://www.iico.uaslp.mx). 

### Agradecimientos:

A los doctores Alfonso Lastras y Jorge Ortega, por darle la oportunidad a estudiantes de semestres no muy avanzados a entrar en los laboratorios con la debida supervisión, pues ello trasciende a través de los años en la formación científica de los estudiantes. Los proyectos realizados dentro de sus clases de licenciatura sirvieron de inspiración para este artículo.

### Referencias bibliográficas:

- V. A. Mishurnyi, A. Lastras Martínez (2009) *Láseres de Semiconductor*, San Luis Potosí, México: Editorial Universitarios Potosinos.  
John P. Mckelvey, (1996). *Física del estado sólido y de semiconductores*, Ciudad de México: Limusa.