

CAPÍTULO 1:

DESCRIPCIÓN DE LED Y OLED

Este capítulo se enfocará en explicar el principio de funcionamiento y en presentar una descripción general de los diodos de emisión de luz (LED, por sus siglas en inglés) tanto con materiales inorgánicos como con materiales orgánicos.

Para explicar el principio de funcionamiento, se iniciará realizando un estudio de los materiales que se utilizan para fabricar LED, desde el punto de vista de la física de semiconductores. Posteriormente se analizarán los procesos radiativos y de luminiscencia en materiales, haciendo énfasis en los procesos de electroluminiscencia.

Dentro de la descripción de los tipos de LED, en donde se verán las principales características que podrían definir a un LED con los otros dispositivos diferentes u objetos que emiten luz, así como también se verán las características específicas que hacen un LED diferente de otro.

Finalmente se presentarán estructuras de LED y de OLED (LED Orgánico) fabricados con diferentes materiales y que emiten en diferentes longitudes de onda.

1.10. DIODO DE EMISIÓN DE LUZ

Un LED es un dispositivo semiconductor que emite luz casi monocromática debido a que el espectro de luz que genera es muy angosto, la luz se genera cuando se polariza directamente a este diodo haciendo fluir una corriente eléctrica a través de él. La longitud de onda de la luz emitida depende del material del cual está fabricado el diodo, la cual puede variar desde luz ultravioleta, pasando por la luz visible y luz en el infrarrojo.

1.11. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS LEDS

1.2.6. Materiales semiconductores

Para hablar de semiconductores, tenemos que mencionar qué es un conductor y qué es un aislante. Un material conductor es aquél que permite un flujo de carga o corriente eléctrica a través de su cuerpo de modo que se distribuye toda la carga en él. Un material aislante hace lo contrario, no permite que las cargas eléctricas se muevan por su cuerpo, es decir, no hay una distribución de la carga.

Un semiconductor es un material que se comporta como conductor o como aislante dependiendo del campo eléctrico en el que se encuentre. Para que un semiconductor conduzca electricidad es necesario que el material tenga electrones que no estén unidos a un enlace determinado y sean capaces de moverse a través del material.

Los átomos de estos tres tipos de materiales tienen estructuras similares, ya que los tres poseen niveles o bandas de energía, en cada una de ellas los electrones tienen energía diferente. En niveles muy cercanos al núcleo tienen una fuerza de atracción a éste mayor que en niveles que están alejados, permitiendo así que en los últimos niveles los electrones se intercambien para hacer combinaciones con otros átomos.

Las bandas de energía las cuales nos ayudarán a entender el funcionamiento de estos materiales son: banda de valencia, banda de conducción y banda prohibida. La banda de valencia es el nivel en donde se realizan las combinaciones de electrones, formando iones o

incluso moléculas cuando se comparten con varios átomos. La banda de conducción en donde los electrones se comparten a través del sólido, es decir los electrones se encuentran prácticamente libres en el material. La banda prohibida es la diferencia de energía de las mencionadas anteriormente, es la energía necesaria (E_g) para que un electrón pase de la banda de valencia a la banda de conducción. La Figura 1.1 muestra la estructura de los materiales mencionados.

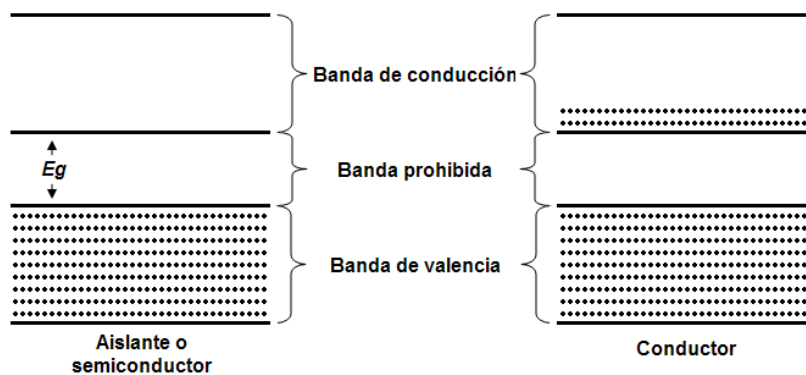


Figura 1.1 Bandas de energía de los materiales

Cuando un material semiconductor no tiene ningún tipo de impureza se dice que es un semiconductor intrínseco, éste posee una banda prohibida lo suficientemente grande como para que los electrones no pasen de la banda de valencia a la banda de conducción, de esta manera se comporta como un material aislante. Cuando a un semiconductor se le aplican impurezas se puede comportar como un conductor que tiene portadores de cargas positivas o huecos y portadores de cargas negativas o electrones, dependiendo del material con el que se haya dopado o contaminado, llamándose semiconductor extrínseco tipo p o tipo n, respectivamente. A partir de este dopado, el material tiene portadores que pueden ir de la banda de valencia a la banda de conducción siempre y cuando se le administre la energía suficiente como para sobrepasar la energía de la banda prohibida. Esta energía administrada puede ser térmica, eléctrica, luminosa, etc.

1.2.7. Semiconductores Inorgánicos y Semiconductores Orgánicos

Los semiconductores en la actualidad forman parte de los principales componentes que se utilizan para elaborar dispositivos electrónicos, por lo que con el tiempo se han estado investigando nuevas formas de elaborarlos, es decir, se han realizado varias combinaciones de elementos que permitan comportarse como un semiconductor. Hasta hace poco tiempo, los semiconductores se elaboraban únicamente con materiales inorgánicos, como por ejemplo el silicio, germanio, selenio, arseniuro de galio, seleniuro de zinc, para mencionar algunos. Todos estos materiales generalmente presentan una estructura cristalina, por lo que mantiene un estado sólido rígido al elaborarse el semiconductor.

Los procesos de elaboración de semiconductores inorgánicos requieren un tratado especial realizado en procesos con una contaminación casi nula, por esto es que la elaboración debe ser muy precisa y se debe de tener un especial cuidado en partículas suspendidas en el aire, por lo que el proceso puede tomar más tiempo y es más costoso, aún cuando los procesos se han perfeccionado con el paso de los años, al ser la electrónica un área de uso importante en la vida cotidiana.

Con el fin de mejorar y hacer más económicos los procesos de fabricación de semiconductores se optó por utilizar nuevos materiales que permitan una conducción similar a ellos. Hoy en día estos materiales nuevos consisten en su mayoría de materiales orgánicos, es decir materiales con base de carbono en su composición. Estos materiales son más fáciles de fabricar y más económicos que los semiconductores inorgánicos.

Los principales materiales usados como semiconductores orgánicos son los polímeros, los cuales bajo diversos procesos les permiten obtener propiedades eléctricas similares a los semiconductores inorgánicos. Otra ventaja que brindan los polímeros en la electrónica son sus aplicaciones más versátiles que los basados en cristales, como menor tamaño en dispositivos de despliegue, dispositivos flexibles y plegables para aplicaciones en pantallas ultradelgadas y flexibles, por lo que actualmente se están desarrollando nuevos materiales orgánicos para cubrir necesidades que antes no eran posibles.

1.2.8. Tipos de luminiscencia

Para poder describir el funcionamiento de un dispositivo de emisión de luz tenemos que entender las diferentes formas por las cuales la luz es producida, el cual es un fenómeno que recibe el nombre de Luminiscencia. La luminiscencia es la propiedad que tienen ciertos materiales o sustancias para emitir luz visible, provocada ya sea al recibir otro tipo de energía externa o por reacciones físicas o químicas del material luminiscente. Dependiendo de la energía que genera esa luz existen varios tipos de luminiscencia, las cuales se destacan:

- a. **Fotoluminiscencia:** la luz generada por la absorción previa de una onda electromagnética por un periodo de tiempo. La luz emitida es de diferente longitud de onda que la radiación que la generó, por lo que no se considera reflexión ni refracción de la onda.
- b. **Termoluminiscencia:** la luz provocada por un aumento de la temperatura en sólidos aislantes o semiconductores. A diferencia de la Incandescencia, en donde un metal se eleva a muy altas temperaturas (700°C para un color rojo hasta 1400°C para un color blanco) para que comience a emitir luz, la termoluminiscencia no requiere muy altas temperaturas, normalmente está entre 300°C y 600°C.
- c. **Triboluminiscencia:** es cuando ciertos minerales emiten luz al pasar por acciones mecánicas, como fricción, presión, al rayarlo, al romperlo, etc.
- d. **Quimioluminiscencia:** es producción de luz cuando se llevan a cabo reacciones químicas, cuando la energía producida no sólo se libera como calor o energía química.
- e. **Electroluminiscencia:** la luz se genera cuando el material se somete a una corriente eléctrica, un campo eléctrico o una descarga eléctrica, y es el fenómeno mediante el cual se produce la emisión de luz en los LED.

1.2.9. Unión P-N

Para comenzar a generar el diodo de emisión de luz se parte de la unión de un semiconductor extrínseco tipo p y otro tipo n, en la cual existe una zona con ausencia de portadores, llamada región de transición. En ausencia de polarización, hay un campo eléctrico en esta zona que no permite a los electrones mayoritarios de la región n pasar a la región p ni a los huecos mayoritarios de la región p pasar a la región n. La Figura 1.2 muestra la unión que se forma al unir un semiconductor tipo p y uno tipo n.

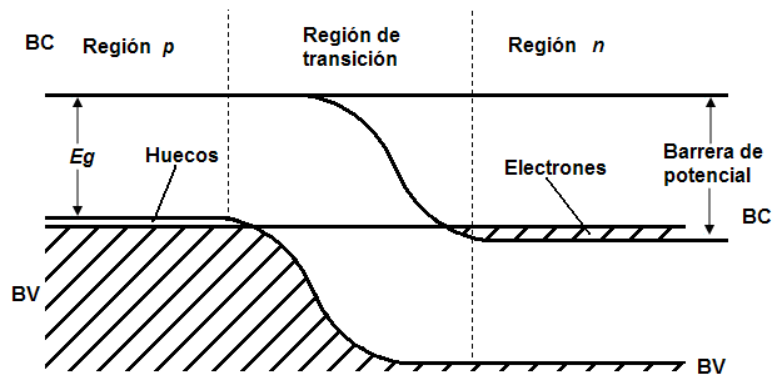


Figura 1.2 Unión p-n en equilibrio, sin polarización

Hay una diferencia de potencial asociada al campo eléctrico, que se llama barrera de potencial, que no permite todo el desplazamiento de las cargas. Si se polariza esta unión directamente, es decir, haciendo positiva la región p en relación con la región n, se reduce la intensidad del campo y disminuye la barrera de potencial, como lo muestra la Figura 1.3.

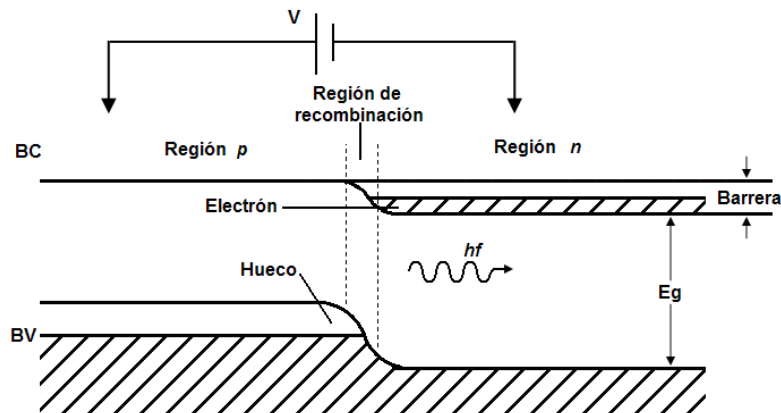


Figura 1.3 Unión p-n con una tensión de polarización directa $V > 0$

Los portadores que se recombinan son entregados por la fuente de polarización y constituyen la corriente directa del diodo, el voltaje que se debe aplicar es cercano al de la barrera de potencial. Puesto que el potencial es la energía por unidad de carga, V es dado aquí por:

$$V \approx \frac{E_g}{e}$$

E_g es la energía de la banda prohibida en joules, y e es la carga del electrón (1.6×10^{-19} C). Si E_g se expresa en electrón volts (eV), se tiene entonces:

$$V \approx E_g$$

1.2.10. Tipos de emisión de luz

Si a un electrón de la banda de valencia se le suministra una energía superior a E_g , éste irá a la banda de conducción, y dejará un hueco en la banda de valencia. Se creará entonces un par electrón-hueco. La energía puede provenir de un fotón, de un electrón o de otra partícula energética. El electrón ya no se encuentra en estado de equilibrio sino en un estado llamado

excitado y tenderá a volver a su estado de equilibrio. Este regreso al equilibrio se hará mediante una recombinación, el electrón que encuentre un hueco vuelve a ir a la banda de valencia. En el transcurso de esta recombinación hay liberación de energía puesto que el electrón pasa de un nivel de energía alto a uno bajo. Esta energía liberada es igual a E_g y da lugar a la producción de luz mediante un proceso de electroluminiscencia. Si hay emisión de un fotón de energía igual a E_g , se dice que la recombinación es radiativa. El fotón se emite mediante un mecanismo llamado Emisión Espontánea. La recombinación puede ser no radiativa, es decir, se hace sin emisión de fotón, en cuyo caso, la energía E_g se libera en forma de calor o como fonón (vibración en la red). Para la fabricación de fuentes de luz resulta adecuado un material semiconductor en el cual sea más probable que ocurra el proceso de recombinación radiativo que el no radiativo. En la Figura 1.4 se muestra el proceso de emisión espontánea de un fotón.

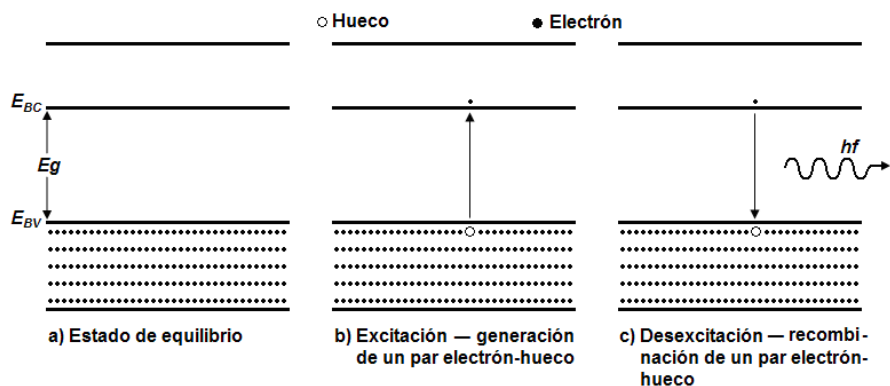


Figura 1.4 Emisión espontánea de un fotón (hf) en un semiconductor

En cambio hay otro tipo de emisión de luz, en donde los fotones que se generan excitan a su vez la generación de nuevos fotones al generar la energía necesaria para que los electrones de la banda de conducción regresen nuevamente a la banda de valencia, este proceso continúa hasta tener una gran cantidad de energía provocada por los fotones. Este proceso es lo que da lugar a la Emisión Estimulada que utilizan los láseres, como se muestra en la Figura 1.5. Los fotones generados en el láser tienen la misma energía, se encuentran en fase y poseen la misma longitud de onda, por este mismo hay una disminución de la longitud de onda espectral (la luz emitida es monocromática), por lo que se produce una emisión amplificada de luz casi sin dispersión, en la Figura 1.6 se muestra la diferencia de la longitud de onda espectral para los tipos de emisión de luz.

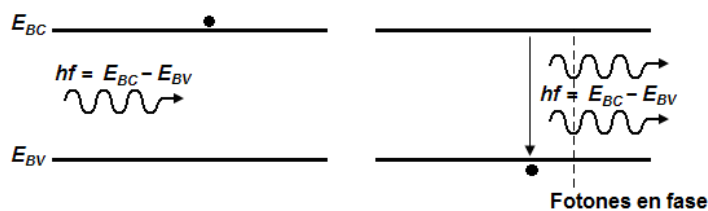


Figura 1.5 Emisión estimulada de fotones

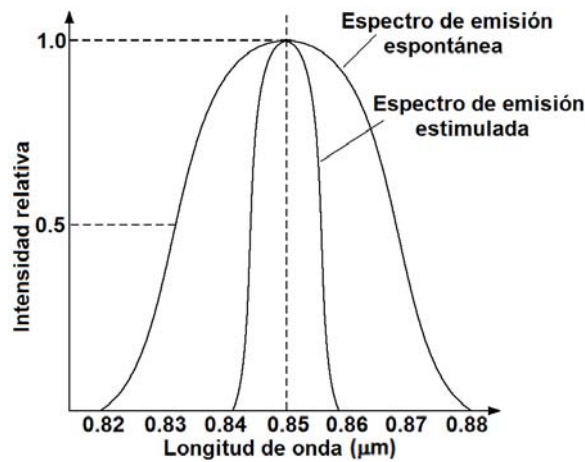


Figura 1.6 Longitud de onda espectral para emisión espontánea y estimulada

1.12. TIPOS DE LEDS

Como ya se mencionó anteriormente los LED funcionan emitiendo luz de una forma electroluminiscente y su emisión de luz es de tipo espontánea, esto quiere decir, que en corriente directa, todos los diodos emiten una cierta cantidad de radiación cuando los pares electrón-hueco se recombinan. La energía contenida en un fotón de luz es proporcional a su longitud de onda o su color. Cuanto menor sea el salto de banda de energía del material semiconductor que forma el LED, más elevada será la longitud de onda de la luz emitida. La Figura 1.7 muestra una relación de la intensidad relativa, longitud de onda y su ubicación en el espectro de luz visible. Algunos ejemplos de materiales y sus longitudes de onda son:

Compuesto	Color	Long. de onda
Arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940nm
Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo	880nm
Arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	Rojo	635nm
Fosfuro de galio y aluminio e indio	Naranja y Amarillo	620nm, 595nm
Fosfuro de galio (GaP)	Verde	565nm
Nitruro de galio (GaN)	Verde aqua	525nm
Nitruro de galio e indio (InGaN)	Azul	470nm
Diamante (C)	Ultravioleta	< 400 nm

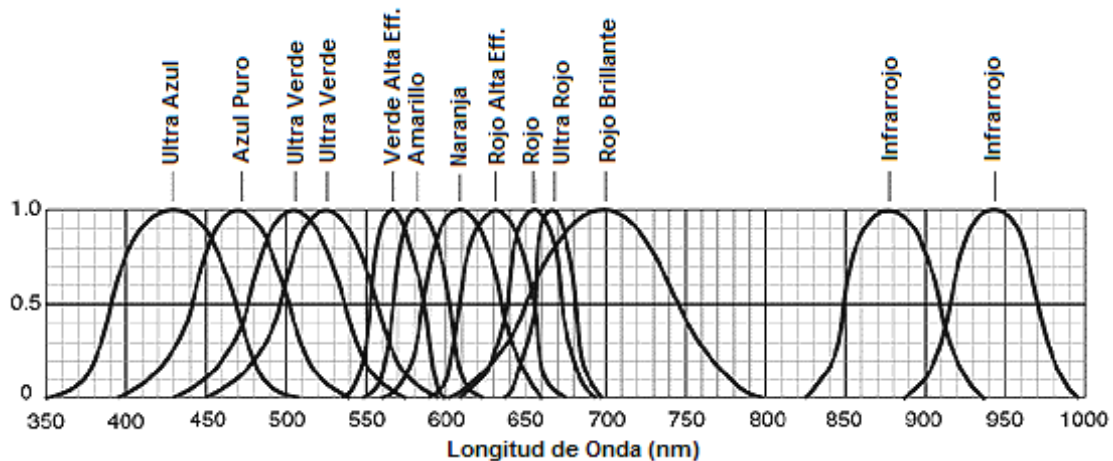


Figura 1.7 Relación de intensidad relativa y la longitud de onda

1.13. CARACTERÍSTICAS DE LOS LEDS

1.4.1. Eficiencia de emisión

La eficiencia del LED es una relación de la cantidad de fotones que puede emitir para generar luz en relación de los pares electrón-hueco que se recombinaron en total, la eficiencia depende de varios factores que son: Absorción, Refracción, Reflexión y del Rendimiento Externo.

- **Absorción:** se refiere a la capacidad del material de absorber los fotones que se propagan a través de él. La energía de estos fotones absorbidos provocan que los electrones vayan de la banda de valencia a la banda de conducción.
- **Refracción:** cuando un fotón que no sea absorbido llega a la interfaz del semiconductor con el aire, puede que se refleje el fotón al cristal de nuevo siempre y cuando el ángulo de incidencia sea mayor al ángulo crítico.
- **Reflexión:** al cruzar la interfaz de semiconductor y aire todavía es posible que el fotón se refleje, de igual manera dependiendo de los índices de refracción de los materiales y del encapsulado del LED.
- **Rendimiento Externo:** es la relación del flujo energético externo con la potencia eléctrica suministrada al diodo. Esto se refiere a la facilidad de recombinación de los pares de electrón-hueco.

1.4.2. Tiempo de respuesta

La luz emitida es proporcional a la corriente suministrada al LED. La luz también depende si la corriente es directa o alterna. En muchas aplicaciones es necesario modular los pulsos de luz, entonces la rapidez de un LED está determinada por el tiempo de vida de los portadores suministrados, es decir, el tiempo que los portadores estén activos en el material. Si las variaciones de corriente son de tal manera que los electrones no tienen tiempo de recombinarse, la luz emitida no es proporcional a la corriente.

1.4.3. Longitud de onda espectral

Un LED no emite en un espectro puramente monocromático, sino que a causa de los cambios de temperatura, los portadores tienen una energía que cambia. Estos cambios provocan que los fotones emitidos posean una energía alrededor de la banda prohibida E_g , esta variación de energía corresponde a una variación de la longitud de onda emitida.

1.14. DIODOS ORGÁNICOS DE EMISIÓN DE LUZ

Un Diodo Orgánico de Emisión de Luz (OLED), es un dispositivo semiconductor basado en una capa electroluminiscente formada por otras capas de componentes orgánicos que reaccionan de la misma manera que un LED convencional.

Existen muchas tecnologías OLED diferentes, tantas como la gran diversidad de estructuras y materiales para contener la capa electroluminiscente, así como el tipo de componentes orgánicos utilizados.

Las principales ventajas de los OLED son: menor costo, mayor escalabilidad, mayor rango de colores, más contrastes y brillos, mayor ángulo de visión, menor consumo y, en algunas tecnologías, flexibilidad. Pero la degradación de los materiales OLED han limitado su uso por el momento. Actualmente se están realizando investigaciones para solucionar los problemas actuales de los OLED, hecho que trata de hacer de los OLED una tecnología que puede reemplazar las pantallas LCD y la pantalla de plasma. Algunos ejemplos de aplicaciones actuales con OLED se muestra en las imágenes de la Figura 1.8.

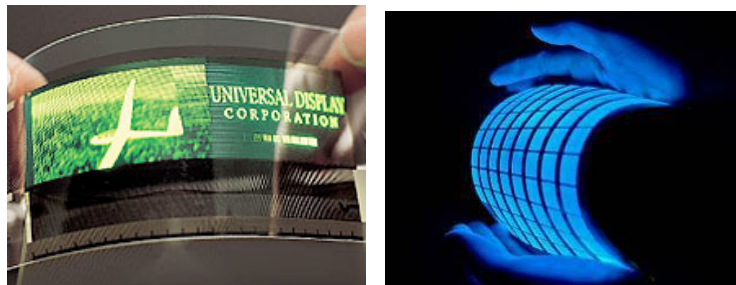


Figura 1.8 Ejemplos de aplicaciones utilizando OLED

1.15. ESTRUCTURA INTERNA DE UN OLED

Una estructura típica de un OLED consiste en dos finas capas orgánicas: capa de emisión y capa de conducción, que a la vez están entre una fina película que constituye al ánodo y otra igual que forma al cátodo. En general estas capas están hechas de moléculas o polímeros que conducen la electricidad. Sus niveles de conductividad eléctrica van desde los niveles aisladores hasta los conductores, y por ello son semiconductores orgánicos. La Figura 1.9 muestra la distribución de las capas en la estructura interna de un OLED.

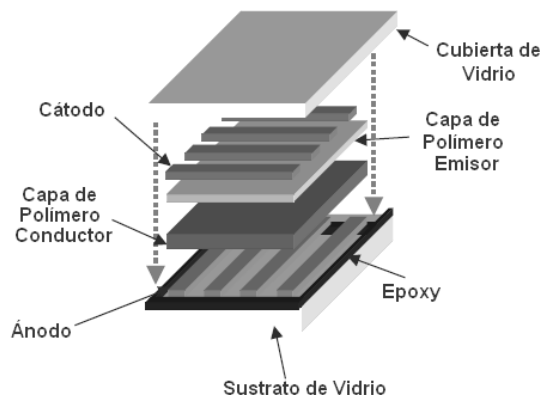


Figura 1.9 Estructura interna que compone a un OLED

1.16. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL OLED

Los OLED dependen de los materiales orgánicos que envían la luz hacia el exterior cuando son alimentados por una corriente eléctrica. Cuando se alimenta un OLED con una fuente de voltaje, ocurre el siguiente proceso que también se muestra en la Figura 1.10:

1. Los electrones son inyectados a través del cátodo.
2. Los huecos son inyectados a través del ánodo.
3. La capa conductora transporta los huecos hacia la capa de emisión, así mismo los electrones inyectados se transportan a la capa de emisión.
4. Ahí los electrones pasan de un orbital molecular menor desocupado (LUMO) a un orbital molecular mayor ocupado (HOMO), y viceversa para los huecos.
5. De esta manera se da lugar a la recombinación de los pares electrón-hueco, dando como resultado la generación de fotones que se transportan para la capa de sustrato transparente, generalmente de vidrio.

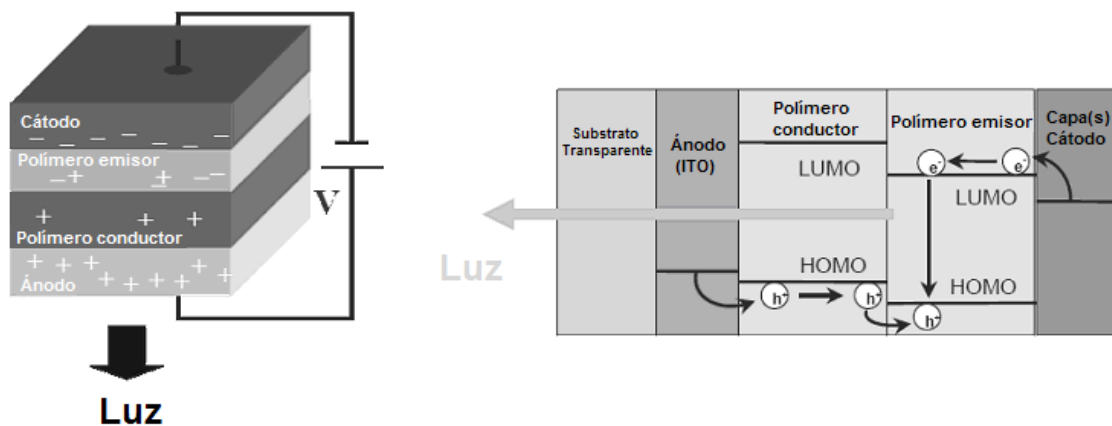


Figura 1.10 Principio de funcionamiento de un OLED

En la Figura 1.11 se muestra la forma de polarización que debe de tener un OLED para su funcionamiento correcto, el voltaje aplicado es de 10 a 20 V para que no se dañe su estructura interna.

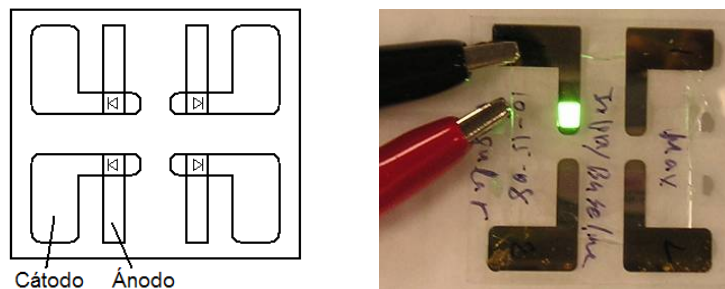


Figura 1.11 Polarización de un OLED

1.17. TIPOS DE ESTRUCTURAS DE OLED QUE HAY ACTUALMENTE

La elección de los materiales orgánicos y la estructura de las capas determinan las características de funcionamiento del dispositivo: color emitido, tiempo de vida y eficiencia energética. Algunos tipos de estructuras de OLED que se han fabricado son:

1.8.5. **SM-OLED** (Small-molecule OLED)

La producción de pantallas con pequeñas moléculas requiere una deposición en el vacío de las moléculas que se consigue con un proceso de producción mucho más caro que con otras técnicas. Típicamente se utilizan sustratos de vidrio para hacer el vacío, pero esto elimina la flexibilidad a las pantallas aunque las moléculas sí lo sean.

1.8.6. **PLED** (Polymer Light-Emitting Diodes)

Se basan en un polímero conductivo electroluminiscente que emite luz cuando le recorre una corriente eléctrica. Se utiliza una película de sustrato muy delgada y se obtiene una pantalla de gran intensidad de color que requiere muy poca energía en comparación con la luz emitida. El vacío no es necesario y los polímeros pueden aplicarse sobre el sustrato, el cual puede ser flexible.

1.8.7. **TOLED** (Transparent OLED)

Los TOLED usan un terminal transparente para crear pantallas que pueden emitir en su cara de adelante, en la de atrás, o en ambas consiguiendo ser transparentes. Los TOLED pueden mejorar enormemente el contraste con el entorno, haciendo mucho más fácil el poder ver las pantallas con la luz del sol.

1.8.8. **SOLED** (Stacked OLED)

Los SOLED utilizan una arquitectura que se basa en almacenar subpíxeles rojos, verdes y azules, unos encima de otros en vez de disponerlos a los lados como sucede de manera normal en las pantallas de televisión de TRC y LCD. Esto permite una mejor resolución en las pantallas y se realiza la calidad del color.

1.18. **CARACTERIZACIÓN DE LED Y OLED**

En la actualidad, las principales características que se muestran para describir el funcionamiento de los OLED y LED son la intensidad luminosa que genera, la longitud de onda de la luz que emite, el voltaje de polarización que se requiere aplicar para que encienda, la corriente de polarización directa que utiliza, la temperatura a la cual puede trabajar el semiconductor y por último, el patrón de radiación que genera la luz emitida.

Estas características se muestran mediante gráficas para mostrar cómo debe de ser trabajado este dispositivo y cómo es el desempeño del OLED y LED al ir modificando los factores que lo hacen funcionar de forma correcta.

La única información que se presenta acerca de los tiempos de encendido y apagado de estos dispositivos es que en las hojas de especificaciones de distintos tipos de diodos de emisión de luz en el espectro visible informan que tienen tiempos de respuesta rápidos y que son capaces de trabajar con operación de pulsos.

En ningún trabajo se presenta alguna gráfica o relación que muestre cómo son los tiempos de respuesta exactos del dispositivo. Sin embargo, éstos son un factor importante ya que se necesita conocer con exactitud cuál es el retardo que genera al encender y apagar rápidamente el diodo de emisión de luz y de esta manera conocer cuáles serían las aplicaciones avanzadas para estos dispositivos.

Para la caracterización de los tiempos de encendido y apagado de los diodos de emisión de luz se necesita la ayuda de un circuito de prueba que sea capaz de conmutar más rápido

que lo que lo hace el OLED y LED, de tal manera que no limite el funcionamiento de éste y que no se pierda información acerca de esos tiempos. A partir de este punto se referirá simplemente como LED al diodo o dispositivo de emisión de luz, para no ser repetitivo al enunciar si se trata de un OLED y/o de un LED.

En el siguiente capítulo se describirá la configuración experimental que se llevó a cabo para todas las mediciones de este trabajo, así como también la manera en que se elaboraron todos los circuitos necesarios.