

Capítulo 2

Marco Teórico

En este capítulo se describe la base teórica que involucra una breve descripción de las propiedades de los materiales semiconductores orgánicos empleados, el modelo de transporte de cargas y su relación con la teoría de bandas de energía. De igual forma se presenta la compatibilidad de los materiales semiconductores, dieléctricos y metales para lograr una operación adecuada de los dispositivos. Aquí también se presenta una descripción y extracción de los parámetros que deben considerarse para el diseño de los dispositivos (OLEDs, OTFTs y Capacitores) que se emplean en la creación de los pixeles activos.

2.1 Semiconductores Orgánicos

En 1950 el científico A. Bernanose, fue la primera persona en observar el fenómeno de electroluminiscencia en materiales orgánicos al aplicar un campo de alto voltaje en corriente alterna a una película delgada orgánica. Las propiedades eléctricas que presentaban estos materiales dieron origen a muchos estudios y descubrimientos en semiconductores orgánicos [1]. Algunas de las características ofrecidas por estos materiales son su bajo costo, fácil procesamiento, transparencia y compatibilidad con sustratos de materiales flexibles. Para el desarrollo de dispositivos electrónicos orgánicos, se utilizan polímeros y oligómeros basados en carbono tales como el poly 3-hexyltiofeno y el pentaceno en combinación con las propiedades aislantes de los materiales dieléctricos [2].

Además de sus propiedades eléctricas, los semiconductores orgánicos son materiales intrínsecos capaces de realizar la emisión y absorción de luz. De tal manera que en la actualidad son empleados en el desarrollo de aplicaciones tales como diodos emisores de luz (Light Emitting Diode o LED), celdas solares y transistores. Dada la manera de operar de los portadores de carga en un semiconductor orgánico (la cual se explica en la siguiente sección), se dice que su funcionamiento se basa en el transporte de carga [1,2].

2.1.1 Transporte de Carga

El elemento Carbono, a diferencia de los demás elementos de la tabla periódica de la columna IV; presenta una forma de encontrarse en los materiales bajo tres diferentes configuraciones de hibridación llamadas: sp , sp^2 y sp^3 . Entre estas configuraciones electrónicas de los polímeros y oligómeros se encuentran los denominados materiales saturados y materiales conjugados. En la figura 2.1.1 (a) se muestra una hibridación de un material orgánico saturado con la configuración sp^3 , y en la figura 2.1.1 (b) se muestra una hibridación de un material orgánico conjugado con la configuración sp^2p_z [2].

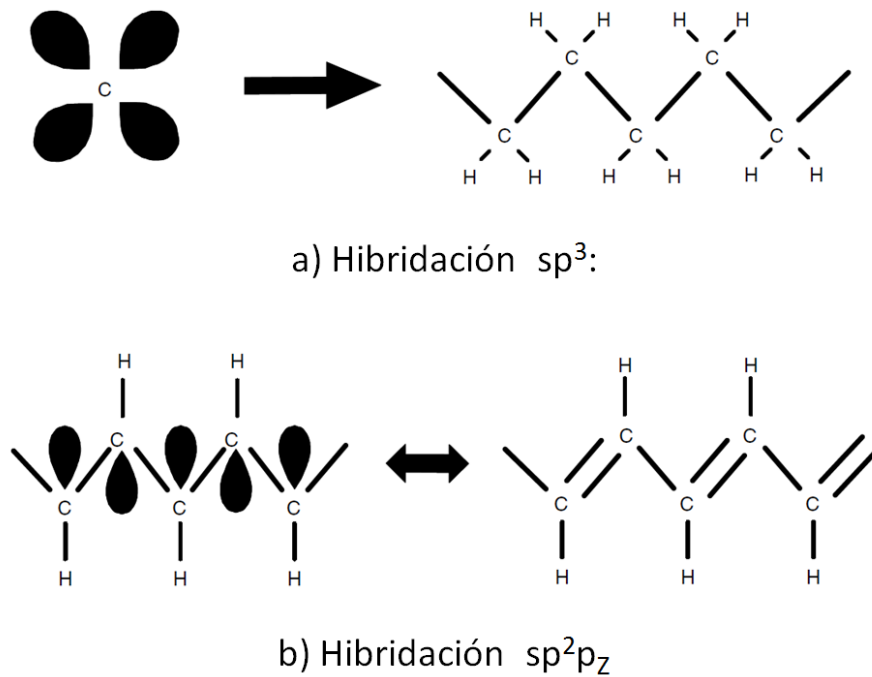


Figura 2.1.1. Hibridaciones (a) sp^3 y (b) sp^2p_z de un semiconductor orgánico.

Los plásticos se forman de carbono utilizando la configuración sp^3 , en donde el átomo de carbono se encuentra unido a sus vecinos por un fuerte enlace sigma o σ (σ -bonds). Dada la fuerza de los enlaces σ , la distancia entre los niveles de energía del enlace y el anti-enlace (también llamados *highest occupied and lowest unoccupied molecular*

orbital” o *HOMO* y *LUMO*) es grande, por lo que se obtiene un plástico transparente a la luz visible y se comporta como un material eléctricamente aislante [2].

Los materiales semiconductores orgánicos, también llamados materiales orgánicos *conjugados*, utilizan la hibridación del carbono sp^2 . En esta configuración el carbono se encuentra unido a sus vecinos por medio de tres enlaces σ , hechos por la hibridación de los orbitales $2s$, $2p_x$ y $2p_y$, y un electrón sin par (electrón π) que pertenece al orbital $2p_z$ el cual forma un enlace pi o π (π -bonds) por sobreposición u *overlap* (a diferencia del enlace σ) con un átomo vecino. A la banda formada se le denomina banda π deslocalizada. Dado que los enlaces π son más débiles que los enlaces σ , la distancia entre los orbitales de enlace y anti-enlace es reducida, obteniendo un material capaz de absorber luz visible y de comportarse eléctricamente como un semiconductor [2].

Comúnmente, en las moléculas en que se encuentra el benceno, los orbitales π se vuelven des-localizados formando un sistema π a lo largo de la molécula. Los enlaces π deslocalizados en una cadena de átomos de carbono forman un sistema electrónico de una dimensión, resultando una banda unidimensional. Esta banda puede ser vista como un semiconductor unidimensional con una banda de valencia llena (*HOMO*) y una banda de conducción vacía (*LUMO*) [2]. En la figura 2.1.2 a) se muestra la estructura química del benceno también conocido por su formula desarrollada como C_6H_6 . En la figura b) se muestra los orbitales del sistema π mientras que en la figuras c) y en d) se muestra las formas de la representación del benceno en las estructuras químicas.

El número de bandas π se determina por el número de átomos dentro de la unidad repetida, por ejemplo, en el caso del Poly para-phenylene vinileno (PPV) como muestra la figura 2.1.3, la unidad que se repite contiene ocho carbonos por lo que la banda π se divide en ocho sub-bandas. Cada sub-banda puede retener dos electrones por átomo, por lo que cuatro sub-bandas π con la energía más baja se encuentran llenas y cuatro sub-bandas π^* con el nivel de energía más baja están vacías. La diferencia entre las energías de la sub-banda π mas alta ocupada y la sub-banda π^* más baja desocupada, define la banda prohibida de energía $\pi^*-\pi E_g$ [1,2].

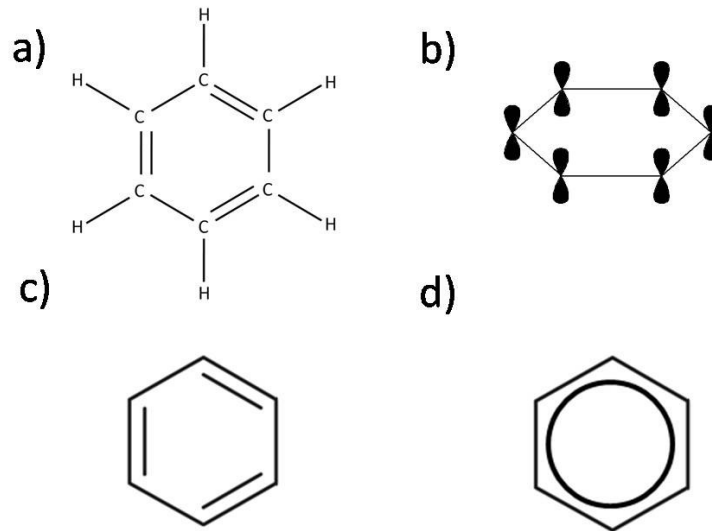


Figura 2.1.2. a) Estructura química del Benceno. b) Enlaces deslocalizados en el Benceno. c) y d) Representaciones de estructuras químicas del Benceno.

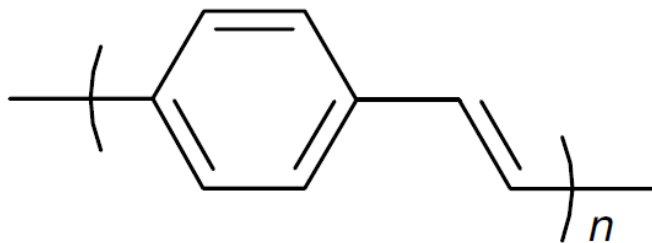


Figura 2.1.3. Estructura química del PPV.

En la figura 2.1.4 se muestra un modelo de la concentración de portadores de carga ($\leq 10^{14}/\text{cm}^3$) de una película de PPV sin dopaje. Bajo un campo eléctrico lineal, los electrones son inyectados desde el cátodo (función de trabajo baja requerida para obtener un mejor acoplamiento con el nivel de energía LUMO) en la banda π^* (banda de conducción) del material orgánico electroluminiscente, mientras que los huecos son

inyectados desde el ánodo (función de trabajo alta requerida para obtener un acoplamiento con el nivel de energía del HOMO) a través de la banda π (banda de valencia) [1].

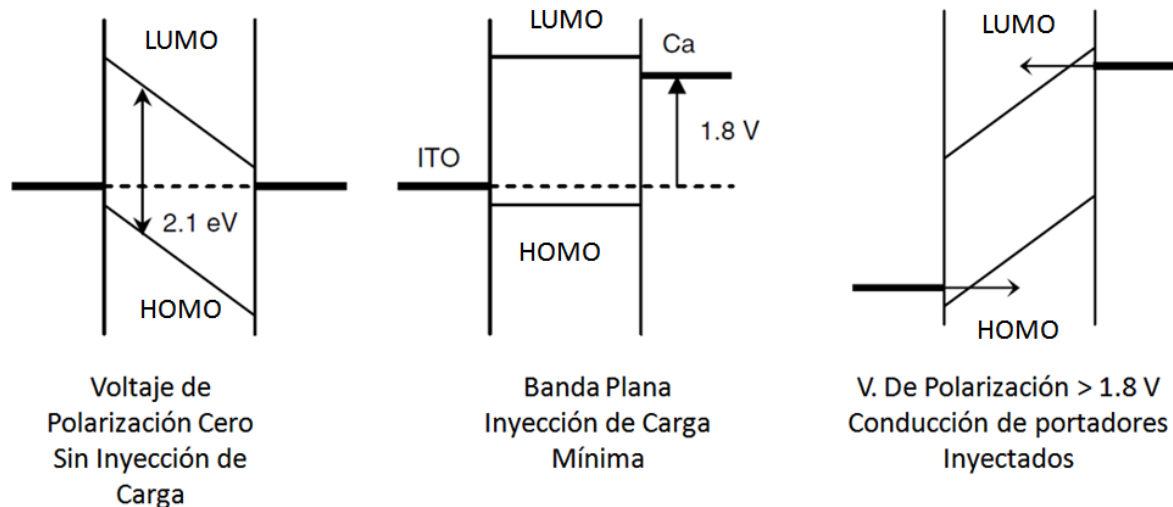


Figura 2.1.4. Modelo de bandas de energía del PPV.

Como se puede observar, en los materiales orgánicos moleculares, las fuerzas intermoleculares son débiles. Las energías de enlace son considerablemente más bajas que en los que se encuentran en los enlaces iónicos y covalentes de los semiconductores inorgánicos [3,4]. Por esta razón, el mecanismo de carga es fundamentalmente diferente. Las interacciones débiles de Van der Waals dan como resultado un pequeño ancho de banda electrónico, fuerte interacción electrón-red, y formación de polarones (cuasi-partículas asociadas a una carga con un campo eléctrico asociado). Por ejemplo, algunos cálculos realizados en cristales moleculares orgánicos que están libres de defectos, resultan en anchos de banda del orden de 0.1-0.5eV [5-8]. Esto es menor que un orden de magnitud del ancho de banda del silicio [9]. Los anchos de banda reducidos reflejan bajas movilidades de portadores de carga (10^{-5} - 10 cm²/Vs [10-13] para los semiconductores orgánicos, comparados con 50-500 cm²/Vs para el silicio [14]), y fuertes interacciones entre portadores de carga libres y la red molecular. Esta interacción facilita la localización de los portadores de carga y una fuerte reducción de los anchos de banda, y de este modo se espera que las propiedades de transporte sean crucialmente afectadas.

Por otro lado, se sabe que la movilidad μ de los portadores de carga se refleja de la velocidad de arrastre de las cargas en la red molecular, de modo que esta es influenciada por todas las interacciones que encuentra. De manera que

$$\mu = \frac{v_d}{E} \quad (2.1.1)$$

donde v_d es la velocidad de arrastre y E el campo eléctrico.

La dispersión por defectos, impurezas y fonones (vibraciones de la red) reducirá la velocidad de arrastre de las cargas, así como la movilidad electrónica. La conductividad σ del material esta dado por la densidad de portadores de carga n y la movilidad de portadores de carga μ .

$$\sigma = ne\mu \quad (2.1.2)$$

Donde e es la carga del electrón. La movilidad es influenciada por los eventos de dispersión, de manera que

$$\mu = \frac{e\tau}{m^*} \quad (2.1.3)$$

donde τ es el tiempo entre dos eventos consecutivos de dispersión y m^* es la masa efectiva. La ecuación anterior nos provee una relación directa entre la morfología de los materiales y sus movilidades. El valor de la movilidad afecta directamente en el desempeño del material en los dispositivos, de tal forma que se le relaciona con la velocidad de conmutación en los dispositivos. En los últimos años se ha realizado un mejoramiento en el control y entendimiento de los mecanismos de transporte en los materiales orgánicos, a nivel molecular, junto con el conocimiento de la influencia de los factores intrínsecos y extrínsecos resultando en un mejor desempeño. De manera que se ha logrado incrementar la movilidad hasta 5 órdenes de magnitud, alcanzando el valor del silicio amorfo [14]. Esto es de gran importancia para las aplicaciones como la que se desarrolló en este trabajo de tesis.

2.1.2 Pentaceno

Además de los oligómeros conjugados, muchos estudios se le han realizado al pentaceno el cual pertenece a la familia de los poliacenos, los cuales son hidrocarburos aromáticos policíclicos formados por anillos de benceno [15]. En la figura 2.1.5 se muestra la estructura química del pentaceno.

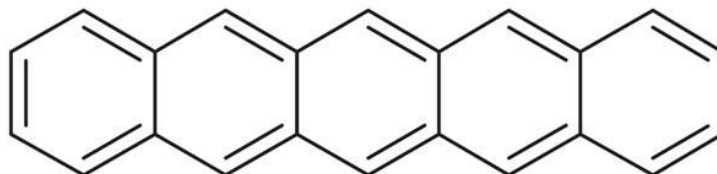


Figura 2.1.5. Estructura química del pentaceno.

El pentaceno se ha depositado como película delgada mediante varios métodos entre los que se encuentran la evaporación térmica y depósito por laser-pulsado para desarrollar TFTs basados en material orgánico. Las movilidades obtenidas por los TFTs varían dependiendo de la cantidad de impurezas en el material. Los valores de movilidad obtenidos varían en el orden de $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ hasta $1.5 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. La movilidad más alta se ha obtenido por medio del calentamiento del substrato mientras se lleva a cabo el depósito de la película delgada [15].

Los resultados de los estudios del pentaceno, muestran que es una molécula de interés altamente potencial dada su tendencia a depositarse de manera perpendicular y paralelas a otras moléculas en ciertos substratos, para lograr una alta movilidad de portadores [15].

Una de las características que han sido reportadas como requeridas en el estudio del pentaceno para la creación de dispositivos, es la unión o interfaz que forman el dieléctrico-pentaceno. Para obtener un buen crecimiento del pentaceno es necesario tener una superficie hidrofóbica que permita el depósito de este material en forma perpendicular y mejore la movilidad del semiconductor. Entre algunos de los materiales dieléctricos utilizados sobre los que se ha depositado pentaceno son el PMMA (Polimetilmetracrilato) [16] y perileno [17].

En la figura 2.1.6 (a) se muestra como las moléculas de pentaceno al ser evaporadas sobre una superficie hidrofílica se acomodan de manera descontrolada. Por otro lado, En la figura 2.1.6 (b) se observa una superficie hidrofóbica en donde las moléculas de pentaceno son repelidas de la superficie, excepto en una orientación molecular que provoca que solo hagan el mínimo contacto con la superficie. De esta manera se tiene una película uniforme de las moléculas de pentaceno sobre el dieléctrico.

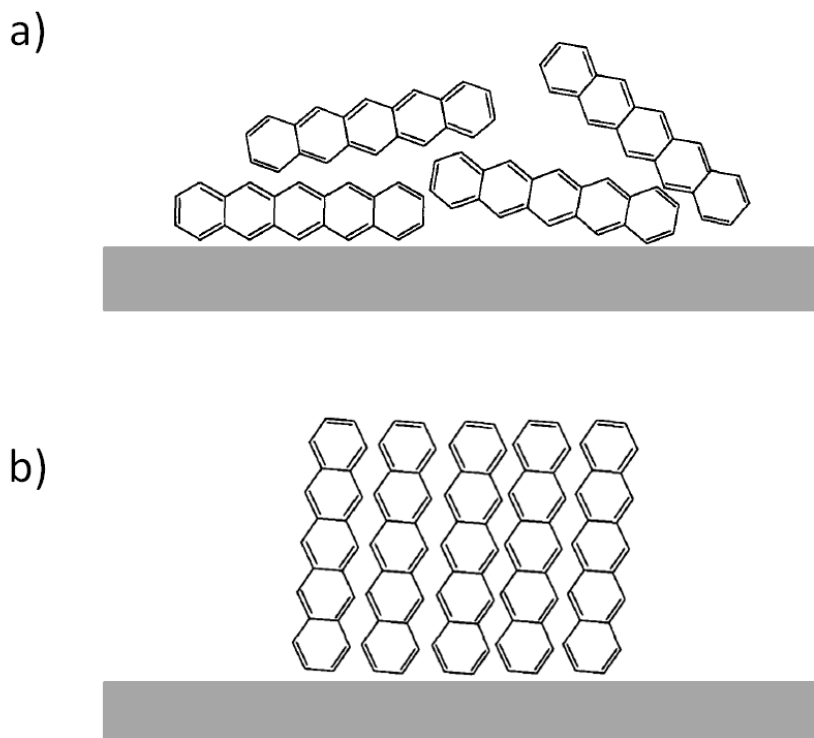


Figura 2.1.6. Acomodo de moléculas de pentaceno sobre una superficie (a) hidrofílica e (b) hidrofóbica.

2.2 Diodos Emisores de Luz Orgánicos

Los primeros LEDs desarrollados con materiales inorgánicos, sustituyeron las lámparas utilizadas convencionalmente como indicadores o dispositivos de iluminación, dado que presentaban mejores características en cuanto a potencia eléctrica de consumo y tiempo de vida [18,19]. El uso de materiales orgánicos en LEDs presenta la posibilidad del uso de grandes áreas de depósito, así como el uso de sustratos flexibles para desarrollar pantallas con AMOLEDs [20-25].

2.2.1 Principio de Operación de un OLED

Existen ciertos diodos o dispositivos semiconductores de unión p-n capaces de emitir luz. El funcionamiento de los OLEDs al igual que los diodos emisores de luz convencionales, se realiza bajo las condiciones de una polarización directa entre el cátodo y el ánodo del dispositivo. Este es capaz de emitir una radiación ultravioleta, visible o infrarroja del espectro electromagnético. En los OLEDs se genera un excitón (par electrón-hueco excitado) en el material orgánico [1,18-20]. De manera que la luz se genera a través de la recombinación radiativa de los electrones y huecos y es emitida a través de un electrodo que generalmente es transparente. Así, dos procesos distintos pero igualmente importantes gobiernan la operación del dispositivo: Transporte de carga y recombinación. El color de la luz emitida se sintoniza por el ancho de la banda prohibida del material activo que se emplea. Para la fabricación de OLEDs se han empleado diversas estructuras, como se ilustran en la siguiente sección.

2.2.2 Estructuras de un OLED

Varias configuraciones de las estructuras utilizadas por un OLED se han desarrollado para obtener mejores características ópticas, eléctricas, etc. Algunas de las optimizaciones obtenidas por las diferentes estructuras utilizadas por los OLEDs son la brillantez, colores más definidos, reducción de consumo de potencia eléctrica, etc. [1,20].

Los primeros OLEDs desarrollados estaban formados por una capa semiconductoras la cual consistía en una película emisora de luz (PE). Posteriormente se desarrollaron OLEDs de dos capas semiconductoras de las cuales eran una película de transporte de electrones (PTE) y la otra una película de transporte de huecos (PTH), las cuales también pueden ser PE. Para obtener las optimizaciones deseadas en las características de los OLEDs, estos se desarrollaron con múltiples capas de semiconductores. Como se muestra en la figura 2.2 una estructura de un OLED de más de tres películas semiconductoras que se encuentran entre dos contactos o electrodos de inyección de carga.

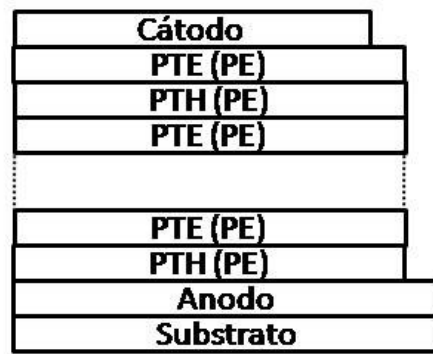


Figura 2.2. Estructuras de un OLED de cuatro o más capas semiconductoras donde las capas PTE y PTH también son PE.

2.3 Transistores de Películas Delgadas Orgánicas

Los transistores de película delgada orgánicos u *organic thin film transistor* (OTFT) utilizados en este trabajo están basados en pentaceno como semiconductor (tipo p). Existe una comparación que ha sido reportada entre los transistores orgánicos de pentaceno y los transistores inorgánicos de silicio amorfo o amorphous silicon (a-Si), en la que ambos han sido reportados con una movilidad de aproximadamente de $1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. Sin embargo, la reproducibilidad de esta movilidad en los transistores basados en pentaceno aun no ha sido optimizada y los métodos para llegar a esta meta siguen siendo estudiados [26,27].

El uso más comúnmente reportado que se le ha dado a los OTFTs es en el desarrollo de pixeles activos o AMOLEDs de semiconductores completamente orgánicos [28-30], sobre materiales flexibles como PEN [31-35] o vidrio (Silicio).

El funcionamiento básico de los OTFT, el cual es similar a los transistores de efecto de campo o field effect transistor (FET), se basa en el modo de operación de un capacitor metal-aislante-semiconductor para controlar el flujo de corriente a través del canal formado por el flujo de portadores. La estructura de estos dispositivos se muestra en la figura 2.3.1. [2,18,19].

Los TFT son transistores de tipo FET, los cuales tienen una respuesta muy parecida a los MOSFET puesto que ambos transistores cuentan con una estructura Metal-Aislante-Semiconductor. Su estructura básica consiste de una placa metálica (compuerta) eléctricamente aislada del material semiconductor y dos contactos metálicos (fuente y drenador) en contacto con el semiconductor [18,19,36].

Los MOSFET son los dispositivos básicos de la electrónica moderna utilizados en circuitos integrados; específicamente en aplicaciones de chips que contienen de cientos a millones y billones de transistores en las tecnologías VLSI (*very large scale of integration*) y ULSI (*ultra large scale of integration*), respectivamente. Así también existen muchas aplicaciones que utilizan los TFTs como dispositivos de comunicaciones, pantallas, dispositivos flexibles, etc [2,15,26].

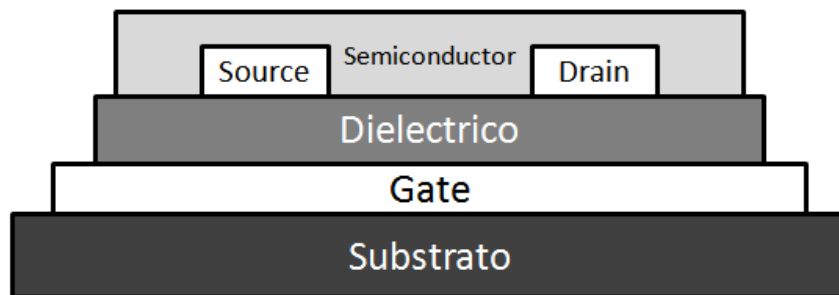


Figura 2.3.1. Estructura de un MOSFET y OTFT

El modo de operación de los TFTs es afectado por la estructura capacitor metal-aislante-semiconductor (capacitor MIS), el cual es el encargado de crear el canal del transistor por medio de la aplicación de un campo eléctrico [15,18,36]. Además de esto, existen diferentes regiones de operación de los transistores debido a los diferenciales de voltaje entre sus terminales [15,18,36].

2.3.1 Capacitor MIS

El principio básico del transistor de efecto de campo se basa en la modulación de la corriente que fluye entre los electrodos Fuente-Drenador (S-D) del transistor, por medio de un voltaje aplicado a un tercer electrodo llamado gate o compuerta. La estructura formada por el FET se le conoce como capacitor MIS, formada por el electrodo de la compuerta, el dieléctrico de la compuerta y el semiconductor. [18,19,36].

En el caso de emplear un semiconductor tipo p (como es el caso del pentaceno), donde los portadores mayoritarios son los huecos; la ausencia de potencial aplicado entre la compuerta y la fuente (V_{GS}) hace los portadores libres se encuentran homogéneamente distribuidos en la película de semiconductor. De esta manera, la corriente que fluye entre el Fuente-Drenador (S-D) es muy baja. A esta forma de operación del capacitor se dice que está en modo de agotamiento o depletion. En esta zona de operación, el V_{GS} no es lo suficientemente negativo como para atraer huecos ni lo suficientemente positivo como para atraer electrones [2,15].

Otro modo de operación del capacitor MIS se tiene cuando se le aplica un voltaje de $V_{GS} > 0$ y se dice que está en modo de acumulación. En este modo de operación los electrones son atraídos al dieléctrico cerrando el paso de corriente entre los electrodos S-D [2,15].

El modo fuertemente invertido del capacitor se obtiene cuando el voltaje de $V_{GS} \ll V_{TH}$, siendo V_{TH} el voltaje de umbral o threshold voltaje. En este modo de operación, los huecos son atraídos al dieléctrico formando un canal por el cual permite el paso de corriente entre los electrodos S-D.

Voltaje de umbral es como se le llama al voltaje aplicado de V_{GS} necesario para encender el transistor. Es decir, cuando suficientes huecos (en el material semiconductor tipo p) son atraídos a la interfaz dieléctrico-semiconductor para crear un canal. Existen varios métodos para obtener el voltaje de umbral del transistor, estos pueden variar dependiendo de las características y el espesor de los materiales utilizados en la estructura del transistor [2,18,36].

La densidad de capacitancia (C'') del capacitor MIS se expresa como

$$C'' = \frac{\epsilon_0 k}{T} \quad (2.3.1)$$

en donde ϵ_0 (8.85×10^{-12} F/m) es la constante de permitividad del vacío, k es la constante dieléctrica del material y T es el espesor del dieléctrico.

2.3.2 Regiones de Operación del OTFT

Existen dos regiones de operación del FET tipo p cuando se encuentra encendido, es decir cuando el voltaje de $V_{GS} \ll V_{TH}$, conocidas como región de triodo y región de saturación [15,18,19].

Cuando el transistor se encuentra en la región de triodo, se encuentra conduciendo una corriente entre el drenador y la fuente que se expresa como

$$I_D = \mu C'' \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (2.3.2)$$

donde μ es la movilidad de los portadores mayoritarios a través del canal del transistor, W y L son el ancho y largo (respectivamente) del canal del transistor y V_{DS} es el voltaje que hay entre el Drenador-Fuente (D-S). Para esta región $V_{GS} \leq V_{TH}$ y $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH}$.

En la región de saturación del transistor, como su nombre lo dice, la corriente que fluye entre los electrodos D-S o el canal tiene el valor máximo. Bajo esta condición $V_{GS} \leq V_{TH}$ y $V_{DS} \leq V_{GS} - V_{TH}$; por lo que la corriente I_D está dada por

$$I_D = \mu C'' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (2.3.3)$$

Cuando el transistor solo opera en la región de saturación, este funciona como un conmutador en donde solo se tienen dos estados: encendido y apagado. Por otro lado cuando el transistor opera en la región de triodo, el control de modulación de la corriente se realiza mediante la variación de voltaje aplicado entre V_{GS} que ubica la operación del transistor en esta región.

2.3.3 TFT Basados en Pentaceno

Existen algunas técnicas para depositar películas delgadas de pentaceno tales como depósito por fase de vapor orgánico (OVPD), evaporación térmica y laser-pulsado [26,27]. En el caso de fabricación de transistores de capa delgada se han reportado movilidades de aproximadamente $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ hasta $1.5 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ [2,15]. También se han hecho estudios para mejorar la movilidad del pentaceno en diferentes condiciones de depósito como temperatura del substrato y presión de la cámara de vacío [2,15].

El material sobre el cual se crece el pentaceno (dieléctrico) debe de ser hidrofóbico (su ángulo de contacto con el agua es mayor o igual a 100°) dentro de los cuales están el perileno y el PMMA. La interfaz entre el dieléctrico y semiconductor usados en este trabajo (perileno y pentaceno, respectivamente) es un elemento crítico del funcionamiento del transistor que se describirá con detalles en un capítulo posterior.

2.3.4 Extracción de parámetros de los OTFT

Los parámetros de un transistor son los que definen su eficiencia y su capacidad de trabajo. Algunos de los parámetros más importantes y utilizados en este trabajo son el

voltaje de umbral (V_{TH}) y la movilidad μ . El V_{TH} es un parámetro del transistor muy importante para determinar el voltaje de encendido requerido para que el circuito de aplicación opere eficientemente. Por su parte, la movilidad nos permite hacer un aproximado de las dimensiones necesarias del transistor para suministrar la corriente requerida por el circuito.

Existen varios métodos para obtener el voltaje de umbral de los transistores. En este trabajo se empleó el método de extrapolación en la región lineal de la curva de transferencia de carga del transistor. Con este método, V_{TH} se encuentra al interceptar el eje V_{GS} con la recta obtenida mediante una interpolación de la región lineal en la curva I_{DS} - V_{GS} y el cálculo del punto de máxima transconductancia mediante su primera derivada (pendiente). En la figura 2.3.2, se muestra un ejemplo de una curva de transferencia del transistor ($I_{DS}^{1/2}$ - V_{GS}) con el resultado de una extrapolación en la región lineal de la curva.

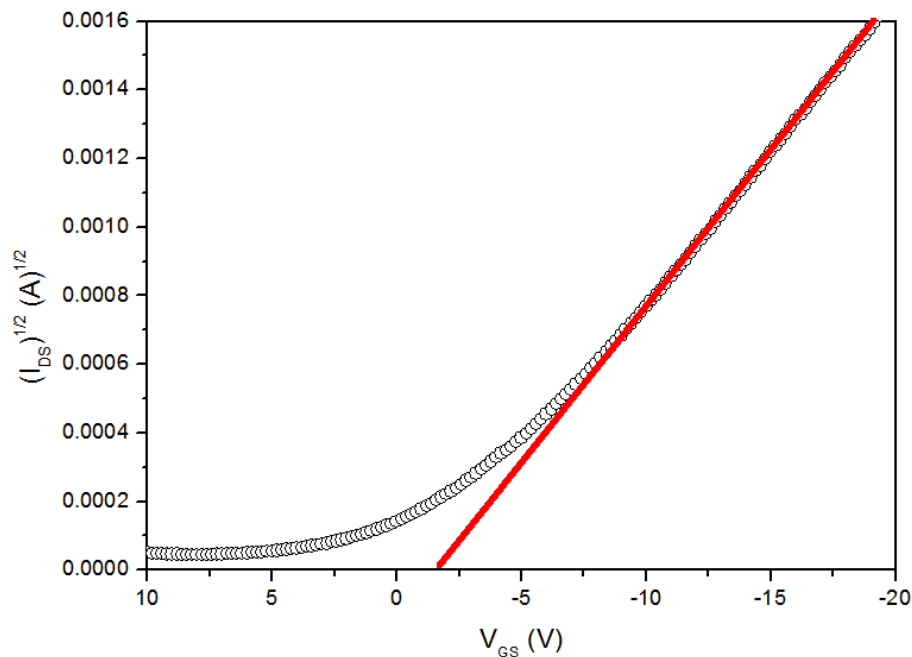


Figura 2.3.2 Obtención del V_{TH} en la curva $I_{DS}^{1/2}$ - V_{GS} .

La pendiente m dada por la curva de extrapolación de la corriente de saturación, la cual algunos autores la llaman la Transconductancia esta está en términos de $A^{1/2}/V$, es

utilizada para obtener la movilidad del transistor utilizando la ecuación de modelación que está dada por

$$\mu = \frac{2Lm^2}{c''W} \quad (2.3.4.)$$

2.3.5 Resistencia de contacto

La unión hecha por el semiconductor y los electrodos de contacto S-D crea un efecto resistivo en el flujo de la corriente a través del canal del transistor, el cual puede modificar el rendimiento de la movilidad del dispositivo.

Uno de los métodos más comunes de explicar la resistencia de contacto es a través de la imagen de unión metal-semiconductor [2]. En la figura 2.3.3 se muestra la alineación de los niveles de energía de la unión oro-pentaceno. De acuerdo al modelo Mott-Shottky [37], los contactos pueden ser óhmicos cuando la función trabajo del metal se encuentra cerca de los niveles de HOMO o LUMO del semiconductor, depende de si el semiconductor es tipo-P o tipo-N. De forma contraria al modelo Mott-Shottky, una barrera de energía se forma entre la interfaz metal-semiconductor obteniendo como resultado una baja inyección de portadores de carga [2].

Dado el potencial de ionización del pentaceno, la distancia de energía entre el nivel de HOMO y el nivel de vacío (E_{vac}) es muy cercano a la función trabajo del oro [38]. El oro como metal de los contactos S-D es utilizado como unión metal-semiconductor dentro del transistor, dado que presenta las características eléctricas óptimas reportadas para los OTFT basados en pentaceno [38].

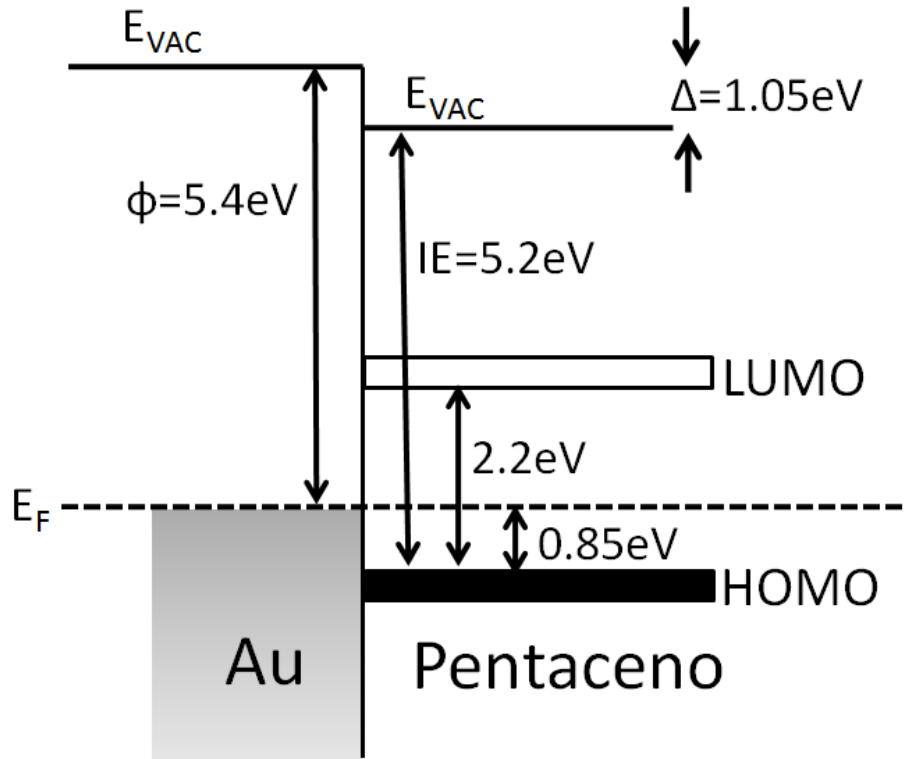


Figura 2.3.3. Alineación de los niveles de energía entre el Oro y el pentaceno.

2.4 Capacitor MIM

El capacitor Metal-Insulator-Metal (MIM) está formado por 2 placas paralelas separadas por un material aislante como se muestra en la figura 2.4.1. El uso general de capacitores es el almacenamiento de energía, de la cual podrá disponerse en instantes posteriores a su acumulación. Este elemento es de suma importancia para diferenciar un pixel activo de uno pasivo. Un capacitor permite seguir suministrando energía eléctrica a un pixel entre transiciones de selección de un arreglo de pixeles.

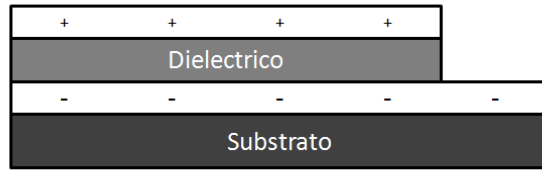


Figura 2.4.1. Sección transversal de la estructura del capacitor MIM.

La capacitancia de un condensador se puede obtener por medio de la diferencia de potencial entre dos placas paralelas (según el caso). Si dos placas conductoras (1 y 2) forman un condensador se podría decir que los potenciales de cada conductor están dados por las siguientes expresiones:

$$\varphi_1 = p_{11}Q - p_{12}Q + \varphi_x \quad (2.4.1)$$

$$\varphi_2 = p_{12}Q - p_{22}Q + \varphi_x \quad (2.4.2)$$

donde $+Q$ es la carga en 1, $-Q$ es la carga en 2 y φ_x es el potencial común aportado por otras cargas. La diferencia de potenciales de las dos placas conductoras está dada por

$$\Delta\varphi = (p_{11} + p_{22} - 2p_{12})Q \quad (2.4.3)$$

Tal y como muestra la ecuación 2.3.3, la diferencia de potencial entre las 2 placas conductoras es proporcional a la carga almacenada Q donde la capacidad del condensador es C . La carga almacenada del condensador se mide en Coulomb por Volt o también llamada farad (C/V o F). Si el dieléctrico entre las placas conductoras tiene una permitividad ϵ , entonces el campo eléctrico entre estas es:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Q}{\epsilon A} \quad (2.4.4)$$

donde σ es la densidad superficial de carga y A el área de las placas. La diferencia de potencial entre las placas es entonces

$$\Delta\varphi = Ed \quad (2.4.5)$$

Por lo que la capacitancia del condensador se puede expresar como

$$C = \frac{Q}{\Delta\varphi} = \frac{\varepsilon A}{d} \quad (2.4.6)$$

en donde d es la distancia entre las placas paralelas.

La distancia entre las placas se define por el espesor (T) de la película o dieléctrico depositado, la cual sostiene una relación inversa con la capacitancia

$$C = \frac{\varepsilon_0 k A}{T} \quad (2.4.7)$$

Donde ε_0 es la constante de permitividad en el vacío y k que es la constante dieléctrica del material.

Cuando un condensador está hecho con dos diferentes tipos de dieléctricos, se obtiene su capacitancia total como si fueran dos capacitores en serie, por lo que

$$\frac{1}{C_{Total}} = \frac{1}{C_{Dielectrico1}} + \frac{1}{C_{Dielectrico2}} \quad (2.4.8)$$

2.4.1 Perileno como Dieléctrico en Dispositivos

El poly-para-xylene también conocido como parylene o perileno, es un polímero orgánico utilizado en este trabajo como dieléctrico de la compuerta en los OTFTs y como material de encapsulación de los dispositivos. Existen diferentes tipos de perileno a los cuales se les nombra como perileno N, C y D. El perileno tipo-N es una cadena lineal, mientras que el perileno tipo-C difiere en cuanto a uno de los átomos de hidrógeno que es reemplazado por un átomo de Cl. El perileno tipo-D tiene dos átomos de Cl los cuales sustituyen cada uno a un átomo de H. En la figura 2.4.2 se muestran las diferentes estructuras de perileno.

Considerando como referencia algunos trabajos de investigación previos, perileno C es el material dieléctrico que presenta las mejores condiciones para el desarrollo de OTFTs basados en pentaceno. El perileno C tiene el coeficiente de expansión térmico más pequeño con 35 ppm a diferencia de 39 ppm del perileno D y 69 ppm del perileno N a 25 °C. Perileno C presenta una constante dieléctrica (K) de 3.1 en comparación de 2.6 y 2.8 del perileno D y N respectivamente. Los diferentes tipos de perileno presentan transparencia óptica alrededor de 280 nm y buena permeación de O₂, H₂, N₂, CO₂, y vapor de agua.

Dado que el perileno tipo-C presenta mejores características eléctricas y mecánicas, fue seleccionado para ser utilizado en este trabajo.

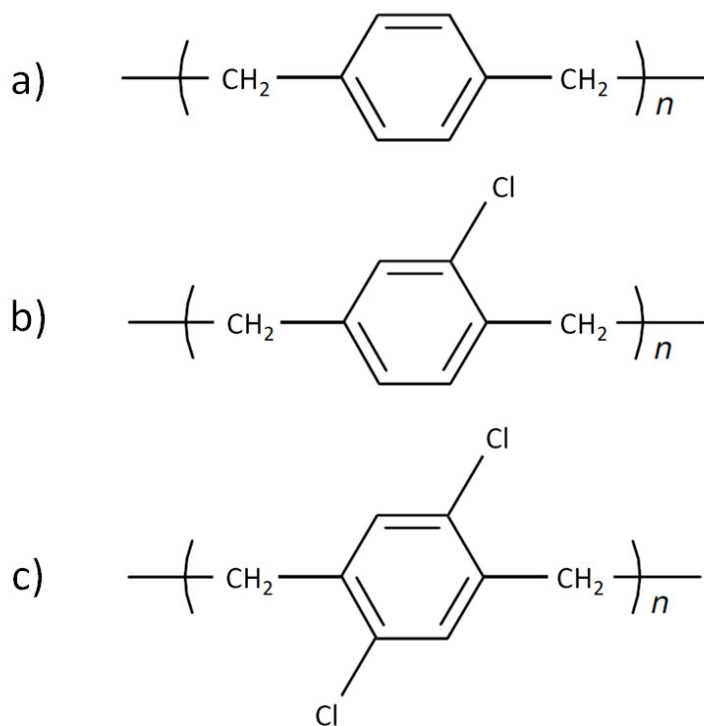


Figura 2.4.2. Estructuras químicas del perileno tipo (a) N, (b) C y (c) D.

El perileno puede ser depositado mediante la técnica de CVD (Chemical Vapor Deposition) en un substrato a temperatura ambiente y una presión de 1 - 25 mTorr (Apéndice C).