

## TECNOLOGÍA OLED Y MOLED

### OLED AND MOLED TECHNOLOGY

RICARDO A. GONZÁLEZ B.<sup>1</sup>  
CLARA M. AGUILAR P.<sup>2</sup>

RECIBIDO: JULIO 2010  
APROBADO: OCTUBRE 2010

#### RESUMEN

Las pantallas mecánicamente flexibles, delgadas y ópticamente transparentes son atractivas en el mercado de los dispositivos portables. El diodo orgánico emisor de luz (OLED, por sus siglas en inglés) cumple con estas características, lo cual lo convierte en una tecnología en constante investigación y desarrollo que busca fortalecer su rendimiento y ampliar su gama de aplicaciones. El presente artículo presenta una descripción de la arquitectura y los principios de funcionamiento del OLED, los materiales empleados en su fabricación, y los tipos de diodos orgánicos emisores de luz desarrollados; así mismo, las matrices y multicapas que a partir de los diodos se forman, su eficiencia y posibles aplicaciones.

#### Palabras clave

Eficacia interna cuántica, MOLED, OLED, semiconductores orgánicos

#### Key words

index terms internal quantum efficiency, MOLED, OLED, organic semiconductors

#### Abstract

Mechanically flexible, optically transparent displays are attractive in the market for portable devices. OLED (organic light emitting diode) meets these characteristics, which makes it in a technology of constant research and development that seeks to strengthen its performance and expand its range of applications. This article presents an overview of architecture and operating principles of OLED, the materials used in its manufacture, the types of organic light-emitting diodes developed, the multilayer and arrays organic diodes, its efficiency and potential applications.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Los desarrollos en diversas disciplinas como la química, la electrónica, la nanotecnología, entre otras, convergen para llevar a los usuarios soluciones cada vez más convenientes para diferentes aspectos de su vida. Es así como la primera pantalla OLED comercial fue presentada por Pioneer Electronics en el panel frontal de un auto estéreo, en 1997. OLED tiene muchas ventajas sobre tecnologías de visualización convencionales. En primer lugar, el proceso de fabricación es fácil y los dispositivos son más delgados

1. Ingeniero electrónico. Msc (C). Docente, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: [ricardogonzalezb@yahoo.es](mailto:ricardogonzalezb@yahoo.es)

2. Ingeniera electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: [claramilena7@gmail.com](mailto:claramilena7@gmail.com)

y ligeros que las pantallas fabricadas con el tubo de rayos catódicos (CRT) [1], [2]. En segundo lugar, también tiene algunas ventajas sobre las pantallas de cristal líquido (LCD): las pantallas OLED pueden ser vistas desde diferentes ángulos y no necesitan una luz de fondo. Por último, la tensión y la potencia consumidas son bajas; son pantallas flexibles y biodegradables [3], [4].

En la primera sección de este documento se abordarán la arquitectura y el funcionamiento de la tecnología OLED. En la segunda y en la tercera sección se explica el funcionamiento del color en OLED y los materiales que se emplean para fabricarla, respectivamente. La cuarta parte es una breve indicación de los tipos de OLED existentes.

Finalmente, se aborda MOLED y la explicación de por qué presenta mejor rendimiento que OLED.

## 2. ARQUITECTURA Y FUNCIONAMIENTO DE OLED

El diodo orgánico emisor de luz, OLED (Organic Light-Emitting Diode), es un diodo

que se basa en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica generando y emitiendo luz por sí mismos [5].

Los OLED son dispositivos de finas multicapas compuestos de:

- Una lámina de sustrato, película o plancha (rígida o flexible),
- Cátodo.
- Ánodo.
- Una capa de transporte de huecos y otra de electrones (HTL y ETL, respectivamente).
- Una capa de emisión (EML).
- Una capa de inyección de electrones (EIL) y una de huecos (HIL).
- Una capa de barrera de protección.

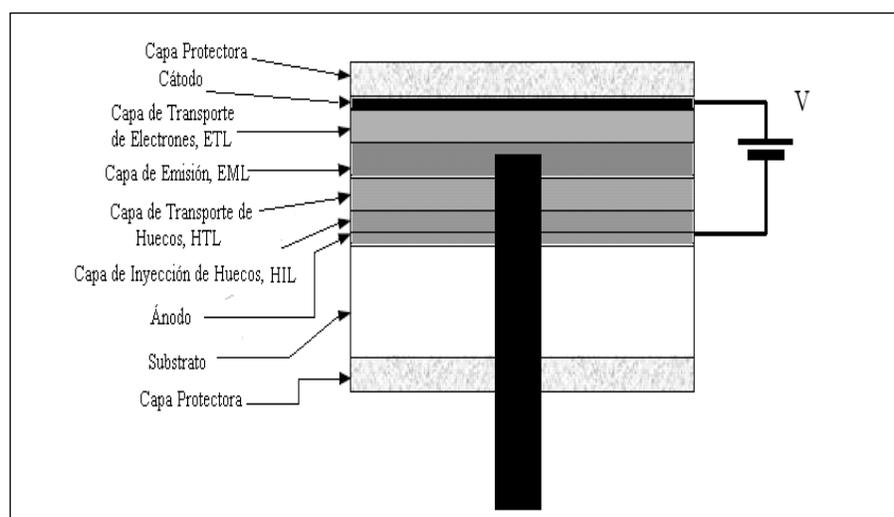


Figura 1. Una estructura típica del dispositivo OLED. El número de capas puede variar, [1]

Los OLED operan de la siguiente manera: el voltaje se aplica sobre los electrodos; los voltajes son bajos, de 2,5 a ~ 20 V, pero las capas activas son tan delgadas (~ 10 Å a 100 nm) que los campos eléctricos en las capas activas son muy altos, del orden de  $[10^5 - 10^7 \text{V/cm}]$ . Estos altos campos eléctricos soportan la inyección de cargas a través de las capas de interfaces de electrodo activo. Los huecos son inyectados desde el ánodo, que es típicamente transparente, y los electrones son inyectados desde el cátodo. Las cargas inyectadas migran una en contra de la otra, en direcciones opuestas en las capas de transporte, y finalmente, se encuentran en la capa de emisión donde se recombinan (la recombinación es el fenómeno en el que un átomo atrapa un electrón [6], [7]. El electrón pasa de una capa energética mayor a otra menor, liberándose con ello una energía igual a la diferencia entre energías inicial y final). La recombinación de energía es liberada y la molécula o segmento de polímero en el cual ocurre alcanza una salida del estado.

Los excitones, que son una excitación elemental formada por esta combinación electrón-hueco y que se dan únicamente en semiconductores y aislantes, pueden migrar de molécula a molécula.

Eventualmente, algunas moléculas o segmentos de un polímero emiten energía como fotones o calor. Es deseable que todos los excesos de energía de excitación se liberen como fotones (luz), para que al radiar a determinada frecuencia formen un color visible y la suma de muchas recombinaciones formen la imagen [8], [9].

La capa de inyección de huecos (HLI) debe facilitar la inyección de huecos desde el ánodo a la capa de transporte de huecos

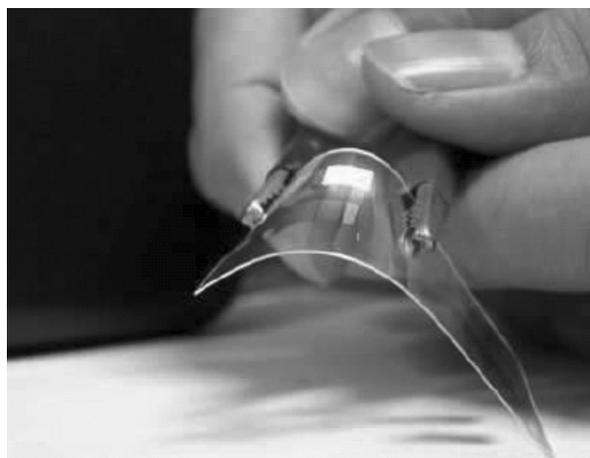


Figura 2. La tecnología OLED permitirá en el futuro el desarrollo de pantallas que se doblen

(HTL). El ánodo debe tener un potencial de ionización alto para inyectar huecos en el HOMO (nivel energético del orbital molecular más alto) de la HIL. La capa de transporte de huecos debe tener una alta movilidad de estos y debe impedir que los electrones lleguen al ánodo [5], [10].

Los materiales que se utilizan para traer las cargas a los sitios de recombinación son usualmente, pero no siempre, pobres emisores (la mayoría de la energía de excitación es liberada en forma de calor). Por lo tanto, se añaden los dopantes adecuados, los cuales primero transfieren la energía de los excitones originales, y luego liberan la energía de manera más eficiente en fotones.

En OLED, aproximadamente el 25% de los excitones están en los estados singlete y el 75% en los estados tripletes [11].

Para comprender estos términos, es necesario hablar de fluorescencia y fosforescencia. En una molécula, la multiplicidad se define como  $M=2S+1$ , siendo S el número cuántico del spin de la molécula [12]. Cuando  $M=1$

se habla de estado singlete, que es el estado energético más bajo de la molécula (estado fundamental). Cuando un electrón pasa a un estado energético superior puede ocurrir que se conserve su spin o que se produzca un cambio en el valor de éste. En el primer caso se tiene un estado singlete excitado y en el segundo un estado triplete.

El proceso de emisión de un fotón desde el estado singlete excitado hasta el estado singlete fundamental recibe el nombre de *fluorescencia* y ocurre inmediatamente después de la excitación, por lo que no es posible percibir visualmente la emisión de fluorescencia una vez eliminada la fuente de radiación [13], [14], [15].

Sin embargo, las moléculas reciben constantes choques, y durante éstos, además de intercambio de energía cinética entre las moléculas que chocan, puede haber intercambio de energía vibracional, que son niveles de energía superpuestos a cada nivel de energía electrónico [16]. Una vez adquirido el estado triplete (que normalmente primero pasa por un estado singlete excitado), la molécula puede llegar al nivel vibracional inferior mediante procesos de relajación vibracional, y posteriormente emitir un fotón [15], para retornar, finalmente, al estado fundamental. Esta emisión se denomina *fosforescencia*.

El que estos fenómenos se observen o no depende de la facilidad de intercambio de energía vibratoria en los choques, lo que a su vez depende de la sustancia, el estado físico y las posibles sustancias que rodean la molécula [17].

La utilización de los estados triplete fue virtualmente ignorada hasta 1998, cuando investigadores de la Universidad del Sur

de California (USC) y de la Universidad de Princeton (PU) demostraron que mediante el uso de dopantes fosforescentes, la energía de todos los estados triplete podría ser utilizada como luz (fosforescencia).

En los últimos experimentos, los emisores fosforescentes OLED (PHOLEDs) verde y rojo muestran casi 100 IQE% (unidad de medida que se explicará más adelante) y el 19% de eficiencia cuántica externa (EQE) (lo cual, bajo condiciones experimentales, se traduce a 40 lm / W) [11].

La duración de una pantalla OLED se estima en 20.000 horas, pero ya están en desarrollo pantallas de hasta 150.000 horas.

### 3. EL COLOR EN OLED

En la siguiente figura se indica la percepción del color emitida por las pantallas OLED.

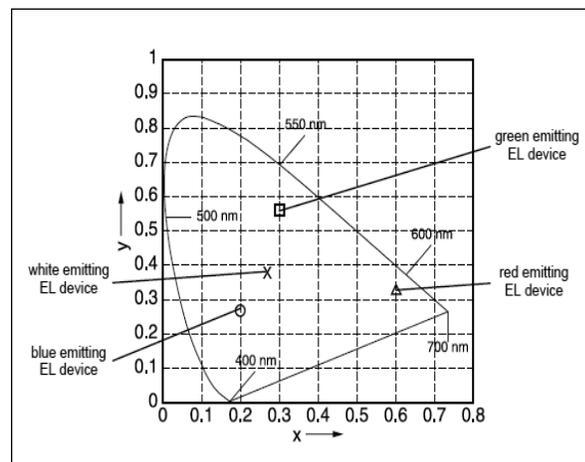


Figura 3. Diagrama de cromaticidad, con las coordenadas CIE del azul, verde, rojo y blanco que emiten los dispositivos electroluminiscentes

El color de emisión puede variar en toda la región del espectro visible mediante la elección adecuada de las moléculas colorantes.

Los OLED emisores de luz blanca se obtienen por la combinación de diferentes capas moleculares colorantes fluorescentes [18]. El espesor de las capas Alq<sub>3</sub> y OXD-8 de los dispositivos de heteroestructura doble puede ser ajustado para lograr moléculas verde-azuladas/blancas. El color rojo lo constituyen o un emisor adicional, como por ejemplo una película delgada de Alq<sub>3</sub> dopada de MCD (4 - (dicianometilina)-2-metil-6-(p-dimetilaminostiril)-4H-piran), o una capa compleja de Eu<sup>3+</sup> [19], [16].

En las pantallas a todo color, los píxeles individuales rojos, verdes y azules deben estamparse y direccionarse de forma individual. Los líquidos coloreados son distintos polímeros semiconductores en solución. Estas soluciones pueden verse como “tintas”, desde un punto de vista funcional, y pueden ser aplicadas a los sustratos utilizando los métodos de impresión modernos.

Se han explorado varias alternativas como la utilización de subpíxeles de los tres colores adosados en el mismo sustrato.

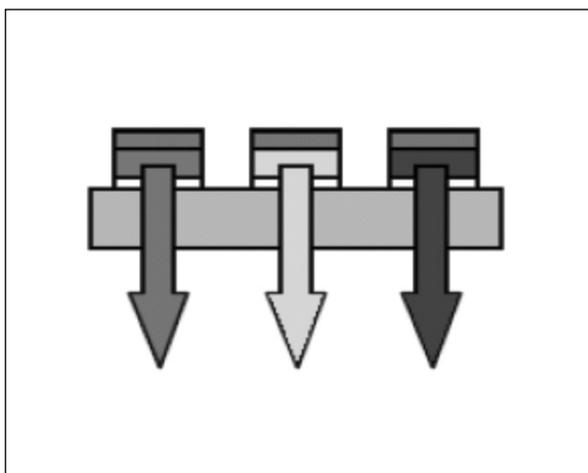


Figura 4. Subpíxeles RGB adosados sobre el mismo sustrato, [5]

#### 4. MATERIALES EMPLEADOS

Lo “orgánico” en OLED se refiere a la materia orgánica. El carbono es la base de toda la materia orgánica. Ejemplos de sustancias a base de carbono son el azúcar, la madera y la mayoría de los plásticos [20].

Se necesitan dos tipos de materiales para llevar las cargas a los sitios de recombinación: polímeros de transporte de huecos o pequeñas moléculas, y los polímeros de transporte de electrones o moléculas [21], [22]. El desajuste de la energía entre el electrodo y la capa de transporte de carga puede requerir otra capa insertada en el medio, para facilitar la inyección de carga y reducir así la tensión de operación. Algunos añaden una capa “buffer” que puede servir para el mismo propósito. La agregación de más capas es lo que llamamos MOLED (Multilayer Organic Light-Emitting Diode).

En la mayoría de los casos, la inyección de los huecos es energéticamente más fácil que la inyección de electrones. Esto puede causar un exceso de huecos, los que podrían derivar hacia el cátodo, sin reunión de electrones. La excesiva corriente puede ser un desperdicio y además puede calentar el dispositivo. Aunque normalmente la capa de transporte de electrones actúa como un bloqueador de huecos, en algunos casos se adhiere una capa adicional entre la capa de transporte de huecos y la capa de transporte de electrones, cuya función es bloquear huecos para evitar la fuga de los agujeros del cátodo. Esto tiene un beneficio adicional: el exceso de huecos que se acumulan cerca de la capa de bloqueo adicional, y el fuerte campo eléctrico resultante que atraviesa la interfaz de transporte de cátodo-electrones aumenta la inyección de electrones en el sistema. Este método automáticamente balancea las tasas

de inyección de ambos portadores de carga y maximiza la recombinación [23], [24].

El cátodo debe ser un metal con una función de trabajo baja como el magnesio o el calcio. Al menos un electrodo debe ser transparente para lograr una alta eficiencia de extracción de la luz. Por esta razón, en la mayor parte de los casos se utiliza ITO (óxido de estaño-indio) como ánodo transparente [5], [10].

En algunos casos, las capas que bloquean los excitones se agregan para prevenir que los excitones alcancen los electrodos y decaigan no-radiativamente. En otros casos, una capa de emisión separada se introduce entre la capa de transporte de electrones y la capa de transporte de huecos. En los dispositivos emisores de color pueden existir tres capas de emisión separadas, donde cada una emite un color diferente. Así que los dispositivos de hoy en día pueden tener un total de siete a nueve capas, que incluyen electrodos depositados por diferentes técnicas (pulverización catódica, deposición de vapor, recubrimiento de disolventes, etc.) A pesar del gran número de capas, el espesor total del dispositivo es típicamente menos de 100 a 200 nm.

La deposición de todos los niveles requiere condiciones libres de humedad y oxígeno. La costosa consecuencia de tal complejidad es alta. La deposición de cada capa impacta negativamente el rendimiento de la fabricación del producto final. El número de capas depende principalmente del tipo de materiales utilizados. Todavía no está claro cuántas capas se necesitarán, en última instancia, para alcanzar los mejores rendimientos [11], [25].

## 5. TIPOS DE OLED

Las moléculas usadas por los científicos de Kodak en 1987 en el primer OLED eran moléculas orgánicas pequeñas. Aunque estas emitieron luz brillante, los científicos tuvieron que depositarlas sobre los sustratos en un vacío (un proceso de fabricación costoso llamado *deposición de vacío*).

Desde 1990, los investigadores han estado utilizando las grandes moléculas de polímeros para emitir luz. Estos se pueden fabricar a menor costo y en hojas grandes, así que son más convenientes para los *displays* en pantallas grandes.

Hay varios tipos de OLED, pero los principales son:

OLEDs de matriz pasiva – PMOLED.  
OLEDs de matriz activa – AMOLED.

### 5.1. OLED DE MATRIZ PASIVA (PMOLED)

Los PMOLED, ver figura 5, tienen tanto el cátodo como el ánodo en forma de tiras de capas orgánicas. Las tiras del ánodo están dispuestas perpendicularmente a las tiras del cátodo. Las intersecciones del cátodo y del ánodo componen los pixeles donde se emite luz. Un circuito externo aplica la corriente a las tiras seleccionadas del ánodo y del cátodo, lo cual determina cuáles de los pixeles permanecen encendidos y cuáles permanecen apagados. Una vez más, el brillo de cada pixel es proporcional a la cantidad de corriente aplicada.

Los PMOLED son fáciles de hacer, pero consumen más energía que otros tipos de OLED, principalmente debido a la energía necesaria para el circuito externo, [5], [26].

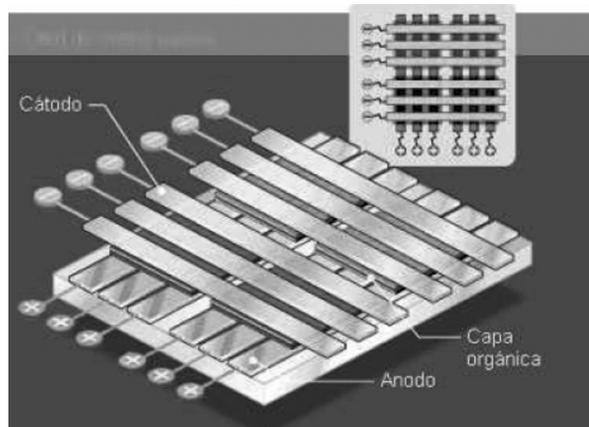


Figura 5. OLED de matriz pasiva

Los PMOLED son más eficientes para el texto y los iconos son más adecuados para aplicaciones de pantallas pequeñas (de dos a tres pulgadas de diagonal o que tengan menos de 100 líneas), por ejemplo para teléfonos celulares, PDA y dispositivos MP3, así como para aplicaciones de *displays* en dispositivos de audio en automotores.

## 5.2. OLED DE MATRIZ ACTIVA (AMOLED)

La figura 6 muestra un AMOLED, el cual tiene capas completas de cátodos, moléculas orgánicas y ánodos, donde una matriz es

formada por los recubrimientos de la capa del ánodo y una película fina de transistor (TFT). El arreglo TFT es el circuito que determina qué píxeles permanecen encendidos para formar una imagen [27], [28].

Los AMOLED consumen menos energía que los PMOLED, ya que el arreglo TFT requiere menos energía que el circuito externo, así que son eficientes para las exhibiciones grandes [29].

Además, también tienen velocidades altas de restauración de imagen, por lo que son convenientes para video. Las mejores apli-

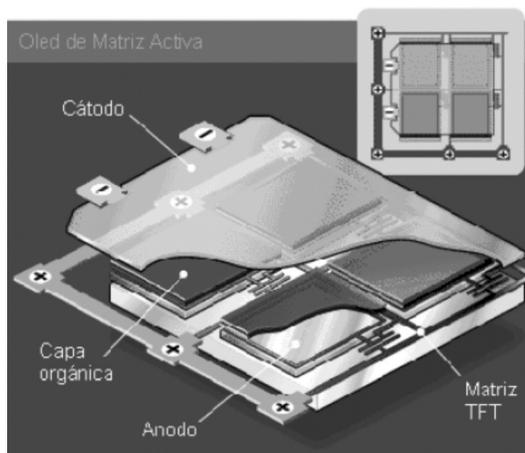


Figura 6. OLED de matriz activa

caciones para AMOLED son monitores de computadora, pantallas grandes de TV y muestras o carteleras electrónicas.

## 6. EFICIENCIA DE DISPOSITIVOS

La eficiencia de la tecnología OLED puede ser caracterizada por su eficiencia cuántica, eficiencia de potencia (lm/W) y eficacia luminosa (cd/A), a veces llamada rendimiento luminoso [18], [30].

La eficiencia cuántica de dispositivo  $\eta_Q$  tiene dos partes: interna y externa.

### 6.1. EFICIENCIA CUÁNTICA INTERNA

$\eta_{int}$  ó IQE es el número de fotones generados dentro del dispositivo por número de pares inyectados electrón-hueco. Una gran fracción de los fotones generados queda atrapada y absorbida en el interior del dispositivo.

Para los OLED, los cuales usan emisores fluorescentes

$$\eta_{int} = IQE = \gamma \eta_s \Phi_f \quad (1)$$

donde  $\gamma$  es el factor de balance de carga (una fracción de cargas inyectadas que producen excitones),  $\eta_s$  es la eficiencia de excitación singlete (la fracción de excitones que se forman como singletes) y  $\Phi_f$  es la eficiencia cuántica fluorescente (la fracción de energía emitida como luz del material fluorescente).

### 6.2. EFICIENCIA CUÁNTICA EXTERNA

$\eta_{ext}$  o EQE es el número de fotones emitidos desde el dispositivo por número de pares electrón-hueco inyectados.

### 6.3. EFICIENCIA (POTENCIA) LUMINOSA

$\eta_p$  es el radio de la salida de lumen a la entrada de vatios eléctricos de entrada (lm/W).

### 6.4. EFICACIA LUMINOSA

$\eta_v$  representa el radio de la salida de lumen a los vatios ópticos (potencia radiativa). La eficiencia luminosa y la eficacia luminosa de un dispositivo son tenidas en cuenta por la sensibilidad espectral de un ojo humano. Por eso, dos dispositivos con eficiencia cuántica similares pueden tener un desempeño luminoso diferente, dependiendo del espectro de luz emitida [31]. En el proceso de conversión de potencia eléctrica en potencia óptica, se sufren pérdidas debido a los procesos no radiativos (relajación térmica de excitones, reflexión interna y absorción de fotones). La eficacia luminosa y la eficiencia luminosa están relacionadas como:

$$\eta_p = \eta_v (P_m / \Phi) \quad (2)$$

donde  $P_m$  son los vatios eléctricos de entrada y  $\Phi$  es la salida de lumen.

## 7. MOLED

Las alturas de las barreras de inyección de portadores en las distintas interfaces de OLED y las movilidades determinan la posición de la zona de recombinación y el rendimiento del dispositivo, lo cual afecta los voltajes de funcionamiento y la eficiencia de la luminiscencia [32], [33]. Como la interacción entre los materiales también incide en el rendimiento de estos dispositivos, en los últimos años ha crecido la importancia de estudiar las interfaces entre las capas orgánicas y metálicas agregando, de acuerdo con la eficiencia, más capas que constituyen lo

que se como se conoce como Multilayer Organic Light-Emitting Diode (MOLED) [34], como lo muestra la figura 7.

A pesar de que siempre se habla de la estructura OLED, en el mercado en realidad se ofrecen pantallas MOLED o estructuras multicapas de OLED, por su alta eficiencia.

Casi todos los OLED realizados cuentan con menos capas que los presentados en la figura 1, esto en razón de que algunos materiales orgánicos reúnen varias de las propiedades mencionadas en una capa. Un diodo orgánico emisor de luz convencional de dos capas consiste en una capa de transporte de hueco (HTL) y una capa de transporte de electrón (ETL).

Una estructura OLED de buena calidad requiere la inyección de portadores suficientes

para que una gran densidad de excitones se generen cuando se recombinan los transportistas. [25], [35]

Sin embargo, una estructura OLED de dos capas tiene una corriente de inyección baja, debido a la pobre interfaz de material metal/orgánico, y por lo tanto, es un dispositivo de salida de baja eficiencia. La corriente de inyección electrónica se puede aumentar mediante el uso de un material de cátodo diferente tal como el LiF/Al.

Lamentablemente, el tratamiento del metal LiF/Al es difícil de controlar y es muy sensible a las condiciones de procesamiento. Además, la inyección de hueco está limitada por el ánodo de óxido de estaño e indio, (ITO, por sus siglas en inglés / *indium-tin-oxide*), el cual tiene un gran barrera metal/orgánica [36], [24].

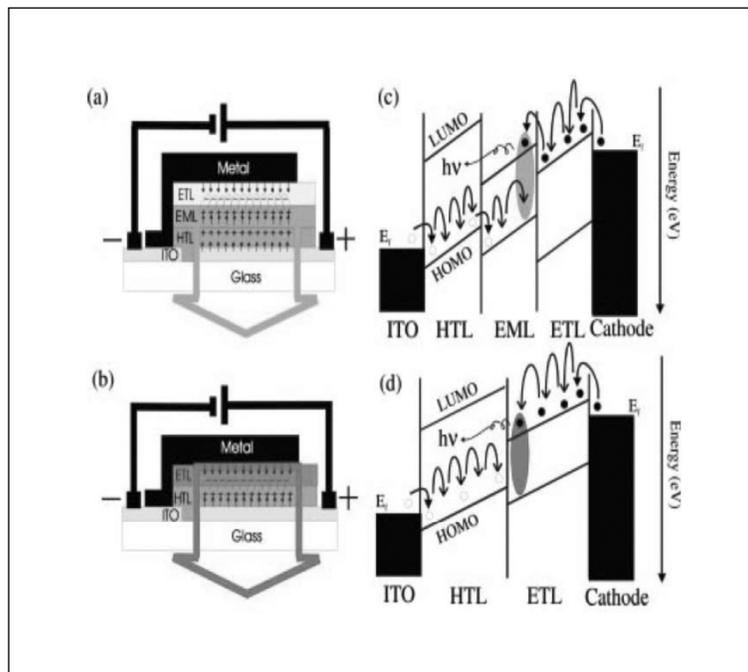


Figura 7. Configuración de los OLED [5]  
 (a) Dispositivo con tres capas (una capa de transporte de huecos (HTL), una capa de emisión (EML) y una capa de transporte de electrones (ETL), situadas entre los electrodos. (b) Dispositivo con dos capas. (c) y (d) Diagrama de energía que muestra el hopping de electrones y huecos para los dispositivos tricapa y bicapa, respectivamente

Los recientes avances para lograr una mayor inyección de corriente han sido posibles por el uso de una estructura de pines con alto dopaje p en el hueco de la capa de transporte, alto dopaje n en la capa de transporte de electrones, y una capa de emisión (EML) de dopante-anfitrión [37]. Al seleccionar el dopante en el EML, se pueden hacer los OLED rojo, verde y azul.

De acuerdo con un artículo publicado en una página de Internet japonesa de documentos técnicos [36], para demostrar por qué más de tres capas OLED tienen una mayor eficiencia, se deben entender los efectos de las interfaces. A pesar de que las interfaces metálico-orgánicas se pueden simular fácilmente, las interfaces orgánico-orgánico requieren un enfoque diferente.

El efecto principal de esta interfaz es añadir estados trampa que reducen la barrera de energía y aumentan la inyección de la barrera de la interfaz. En el citado artículo se usa una forma gaussiana para los estados de trampa de interfaz:

$$\Gamma(E) = \frac{N_{HOMO}}{\sigma\sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{E^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

donde  $N_{HOMO}$  es la densidad efectiva de los estados en el nivel HOMO y  $\sigma$  es el ancho de los estados de interfaz.

Los huecos deben superar la altura de la barrera de dos pasos de nivel energético del orbital molecular más alto HOMO adyacentes, para entrar en la región de EML y cruzar la interfaz, o directamente recombinar con un electrón. La incorporación de los estados de la interfaz hace que la altura de la barrera

baje, y así aumenta la probabilidad de que un portador de carga cruce la interfaz, aumentando así la inyección de barrera [34].

La figura 8 muestra las características de voltaje vs. densidad de corriente y voltaje vs. luminancia sin los estados de la interfaz.

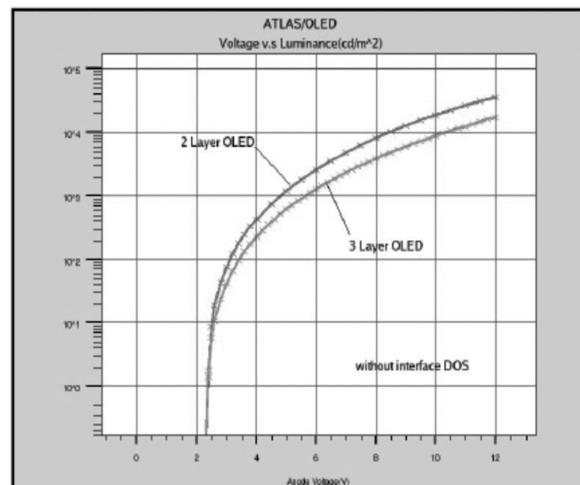
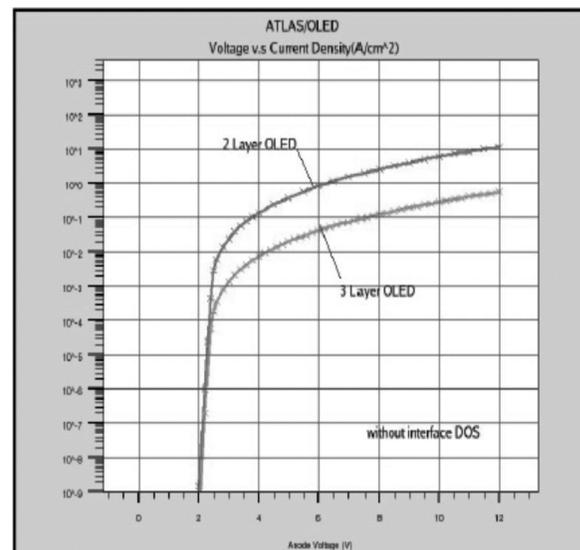


Figura 8. (a) Voltaje vs. densidad de corriente y (b) Voltaje vs. luminancia sin los estados trampa de interfaz, [36]

La figura 9 muestra las características de los estados de interfaz en la interfaz HTL/EML. Con esto se incrementan la eficiencia y la luminancia.

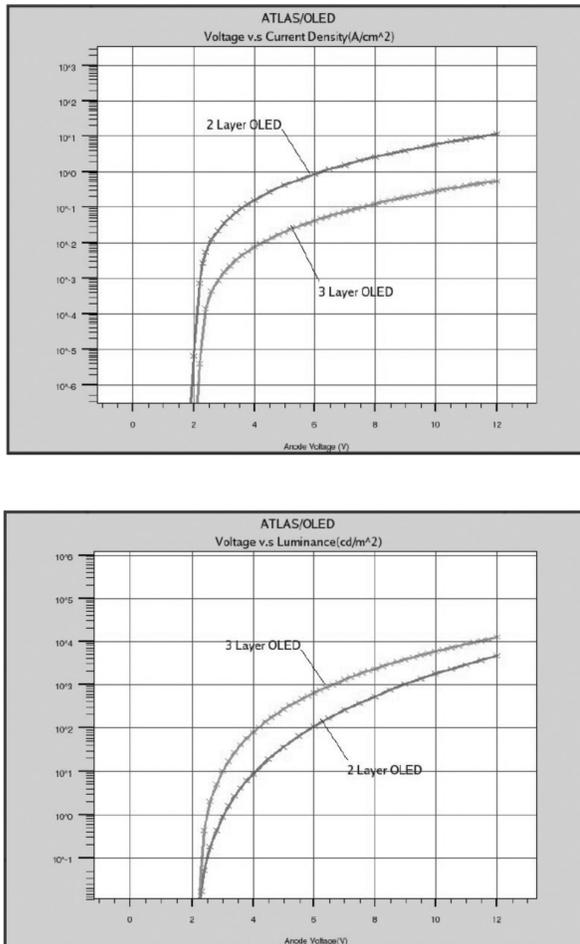


Figura 9. (a) Voltaje vs. densidad de corriente y (b) Voltaje vs. luminancia con los estados trampa de interfaz [36]

La tercera capa de OLED tiene una pequeña inyección de corriente y una salida de luminancia similar, en comparación con la capa 2 del dispositivo. La luminancia en  $\text{cd}/\text{m}^2$  se calcula por:

$$L = \eta_{\text{coupling}} * k_m * S * h\nu * \frac{1}{\pi} \quad (4)$$

donde  $S$  es la densidad del excitón integrado,  $k_m$  es  $683\text{lm}/\text{W}$ , y el valor de acoplamiento

( $\eta_{\text{coupling}}$ ) puede calcularse por traza de rayos o el método de matriz de transferencia [36].

## 8. APLICACIONES

Si bien la tecnología OLED fue desarrollada a comienzos de la década de 1980 por Eastman Kodak, los prototipos para las primeras aplicaciones prácticas fueron producidos en laboratorio y recién en los últimos años hubo una producción industrial de este producto. Por lo tanto, en este sector deben presentarse tanto los prototipos como los productos industriales.

Se encuentran entonces, principalmente, reemplazos de otros tipos de *display* como LCD, en aplicaciones que exigen mayor brillo, mayor rapidez de respuesta, menor espesor y menor peso, y que al mismo tiempo ofrecen menor potencia y consumo, mayor contraste y menor costo de fabricación.

Las agendas personales y los teléfonos celulares son casos típicos de estas primeras aplicaciones. Además, ya hay ejemplos de aplicaciones reales en la iluminación doméstica que utilizan OLED. Entre estas aplicaciones tenemos: prototipos de lámparas convencionales para iluminar el hogar con menos gasto de energía. Las casas Philips y Osram han presentado varias lámparas a base de paneles luminosos con tecnología OLED [38], pero hay nuevos sistemas de iluminación, más revolucionarios, que cambian el concepto de la iluminación a partir de lámparas, como elementos puntuales de luz. Existen ventanas que tienen cristales transparentes, que al llegar la noche se transforman en elementos luminosos a base de OLED, de manera que se crea una ventana luminosa, capaz de producir el efecto de la luz natural [39], [40].

Las aplicaciones son infinitas. Sin duda veremos OLED en pantallas de televisión y de cine; en monitores; en pantallas para toda una nueva generación de dispositivos portátiles, celulares, y PDAS; en la información en los automóviles y en los electrodomésticos; en videojuegos; en la publicidad exterior; en información en sitios públicos (techos paredes y pisos); en el arte; y en decoración y ambientación de espacios, etc.

## CONCLUSIONES

Los materiales, la interacción entre estos, las alturas de las barreras de inyección de portadores en las distintas interfaces de OLED, la inyección por sí misma de portadores, y el número de capas de la estructura afectan el rendimiento de la tecnología OLED. Para que se dé un mayor avance y cubrimiento de esta tecnología en el mercado, se deben cumplir unos requisitos previos, entre ellos la optimización de ciertos datos de rendimiento crítico tales como el tiempo de vida y la eficiencia. Esto requiere innovaciones en los materiales, y en este sentido, la química decidirá sobre el futuro y el éxito de la tecnología OLED.

Las estructuras de varias capas con la elección apropiada de materiales de transporte y los tintes orgánicos emisores son un éxito en la fabricación de diodos emisores de luz para la región del espectro visible. Además, cuando la migración y la decaída de excitones singlete se restringen drásticamente, el resultado es una mejora de la eficiencia cuántica y luminosa en comparación con aparatos simples de una sola capa.

Las estructuras de tres capas OLED con materiales de transporte orgánicos escogidos apropiadamente, en particular, optimi-

zan de manera satisfactoria la fabricación de diodos orgánicos emisores de luz, en comparación con las de dos capas, porque se agrega una capa de emisión (EML) que en contacto con la capa de transporte de huecos hacen bajar la barrera de energía, lo cual incrementa la densidad de huecos y, por lo tanto, la densidad de excitones, de manera que se mejora la luminosidad.

Una característica especialmente interesante de los OLED es que son flexibles. Al contrario que los LED inorgánicos clásicos, pueden doblarse sin dañarse, incluso en pleno funcionamiento, por lo que las aplicaciones pensadas para este tipo de dispositivos ya no son solamente aquellas en las cuales las pantallas permanecen estáticas, en posiciones o lugares fijos, sino que hasta sería posible enrollarlas, manipularlas, adherirlas a ropas y a cualquier tipo de dispositivo utilizado para la presentación de información. Sin embargo, mientras los OLED se construyan sobre una base de vidrio, no se podrá aprovechar la ventaja de poder construirlos flexibles.

Se puede conseguir toda una gama de colores con cualquier tipo de OLED, sea cual sea su clase y conformación. Es importante mencionar que las tecnologías para la fabricación de pantallas planas presentadas en este trabajo, todavía están en una etapa de maduración, es decir, continúan en constante estudio y cada día se presentan mejoras significativas en estas.

Entre las principales ventajas de la tecnología OLED se encuentran su fácil proceso de fabricación y el diseño delgado y ligero. Se espera remplace a las pantallas LCD y plasma, por su bajo consumo de potencia y porque las pantallas OLED son dispositivos "emisivos", lo que significa que emiten luz,

en lugar de modular la transmisión o la luz reflejada, y permiten un mayor ángulo de visión.

#### REFERENCIAS

- [1] P. M. Alemán Chicaiza y G. M. Males Cevallos, Estudio de los leds orgánicos (OLEDs), posibles aplicaciones y comparación con tecnologías disponibles para la presentación de información en pantallas planas. Quito: Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, 2007.
- [2] August E. Grant, J. Harman Meadows, Communication Technology Update and Fundamentals, 11a. Focal Press.
- [3] J. Silvernail, K. Rajan, R. Ma, M. Hack y J.J. Brown, Future Flexible OLED Displays for Army Applications. Ewing, N. J.: Universal Display Corporation.
- [4] S. Nathan, N. Shammam y S. Grainger, The Future of High-Power Conventional Semiconductor Based Light Emitting Diodes (Leds) against Organic Light Emitting Diodes (Oleds). Staffordshire University, United Kingdom.
- [5] P. Chamorro-Posada, J. Martín-Gil, P. Martín-Ramos, L.M. Navas-Gracia, Fundamentos de la tecnología OLED. Departamento de Teoría de la Señal e Ingeniería Telemática y Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Universidad de Valladolid, 2008.
- [6] R. Ng, Design and application of OLED display driver. IIC-China / ESC-China, Solomon Systech Limited, 2004.
- [7] S. Ju, J. Li, J. Liu, P.-C. Chen, Transparent Active Matrix Organic Light-Emitting Diode Displays Driven by Nanowire Transistor Circuitry. West Lafayette: School of Electrical and Computer Engineering and Birck Nanotechnology Center, Purdue University, 2007.
- [8] T. Daniel, S. Teruo, R. Sunder, M. S. Patrick, G. C. Paul y W. Paul, Active Matrix OLED Display Backplanes on Flexible Substrates. FlexICs, Inc., 2002.
- [9] M.S. Tyagi, Introduction to Semiconductor Materials and Devices. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [10] C. Y. Li, B. Wei y J.H. Zhang, "Encapsulation of Organic Light-Emitting Devices for the Application of Display", en International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging (ICEPT-HDP 2008), 2008.
- [11] Optoelectronics Industry Development Association, Department of Energy - Office of Building Technology, State and Community Programs, Organic Light Emitting Diodes (Oleds) for General Illumination (Update 2002). M. Stolka, ed., 2002.
- [12] J. McMurry y R.C. Fay, Química general, 1ª ed. Pearson View, 2008.
- [13] C. González Pérez, Nociones de análisis instrumental. Universidad de Salamanca, 1999.
- [14] G. R. Fowles, Introduction to Modern Optics. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1975.

- [15] M.D. Halls y H. Bernhard Schlegel, Molecular Orbital Study of the First Excited State of the OLED Material Tris(8-hydroxyquinoline)aluminum(III). Detroit, Michigan: Department of Chemistry, Wayne State University. Publication Date (Web): June 30, 2001.
- [16] G. Romero Paredes G. R. Peña Sierra y G. Castillo-Cabrera, "Fabricación y caracterización de diodos electroluminiscentes. CINVESTAV-IPN", Revista Mexicana de Física, 2002.
- [17] M. Díaz Peña y A. Roig Muntaner, Química física 1. Fluorescencia y fosforescencia. España: Editorial Alhambra, pp. 485-86.
- [18] Varios autores, Highly Efficient White OLEDs for Lighting Applications. Germany: Institut für Angewandte Photophysik, Technische Universität Dresden, Philips Research Laboratories, Weisshausstrasse. Germany.
- [19] D. Ammermann, A. Böhler y W. Kowalsky, "Multilayer Organic Light Emitting Diodes for Flat Panel Displays. Annual Report 1995", Institute Hochfrequenztechnik, tu Braunschweig. Consultado en: <http://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/ihf/p048-058.pdf>
- [20] W. Jones, Organic Molecular Solids: Properties and Applications, 1st ed. Boca Ratón, FL (USA): CRC Press, 1997.
- [21] A. Sugimoto, H. Ochi, S. Fujimura, A. Yoshida, T. Miyadera y M. Tsuchida, "Flexible OLED Displays Using Plastic Substrates", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 10, no. 1, January/February, 2004.
- [22] Kungl, Vetenskapsakademien, The Royal Swedish Academy of Sciences, Premio Nobel 2000. The Noble Prize in Chemistry, 2000: Conductive Polymers. Estocolmo, Suecia. Consultado en septiembre de 2009 en en: [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2000/chemadv.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/chemadv.pdf)
- [23] J. Blochwitz, "Organic Light-Emitting Diodes with Doped Charge Transport Layer", Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften geboren. Dresden, 2001.
- [24] Y. Shao y Y. Yang, Organic Solid Solutions: Formation and Applications in Organic Light-Emitting Diodes. Wiley-VCH, 2005
- [25] T. Tsujimura y Y. Kanagawa, "Amorphous/Microcrystalline Silicon Thin Film Transistor Characteristics For Large Size OLED Television Driving", 2004.
- [26] K.M. Soh, C. Xu y C. Hitzelberger, "Dependence of OLED Display Degradation on Driving Conditions", Proceedings of SID Mid Europe Chapter Fall Meeting, 2006.
- [27] P. A. Hobson, J. A. E. Wasey, I. Sage y W. L. Barnes, The Role of Surface Plasmons in Organic Light-Emitting Diodes.
- [28] D. Suzuki, M. Koike, S. Sawamura, M. Kato y M. Kimura, Picture Quality of Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode Displays. Department of Elec-

- tronics and Informatics, Ryukoku University. Novel Driving Method to Improve
- [29] G. Lungu, Thin Film Active Matrix Organic Electroluminescent Display Development. Department of Microelectronics Engineering, Rochester Institute of Technology.
- [30] T. W. Sears, Óptica. Editorial Aguilar, 1970.
- [31] Hecht. Optics. Addison-Wesley, 1987.
- [32] M.-Y. Wang, On the Oled Technology and Oled Technical Issue. Shanxi Normal University College of News and Media, Shanxi Xi'an 710062, China.
- [33] J.P. Cuéllar, D. Pardo, H. Méndez, J.C. Salcedo, B.A. Páez y R. Vera, Construcción y caracterización eléctrica en diodos orgánicos emisores de luz. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Submitted to IEEE II/2009.
- [34] W. Brütting, S. Berleb y A. Mückl, "Device Physics of Organic Light Emitting Diodes Based on Molecular Materials", Organic Electronics, 2001.
- [35] T. Shirasaki, T. Ozaki, T. Toyama, M. Takei, M. Kumagai, K. Sato, S. Shimoda, T. Tano, K. Yamamoto, K. Morimoto, J. Ogura y R. Hattori, Solution for Large-Area Full-Color Oled Television - Light Emitting Polymer and A-SI TFT Technologies. Japan: Casio Computer Co., Kyushu University.
- [36] "Multi-layer Organic Light Emitting Diode Simulation", consultado en: [http://www.silvaco.co.jp/tech\\_lib\\_TCAD/simulationstandard/2006/feb/a4/feb2006\\_a4.pdf](http://www.silvaco.co.jp/tech_lib_TCAD/simulationstandard/2006/feb/a4/feb2006_a4.pdf)
- [37] Yu. Ohmori, Fellow, IEEE, H. Kajii & Y. Hino, Organic Light-Emitting Diodes Fabricated by a Solution Process and their Stress Tolerance.
- [38] H. Antoniadis, "Overview of OLED display technology. OLED Product Development, Opto Semiconductors OSRAM". Consultado en: <http://www.oled-display.net/oled-osram.pdf>
- [39] D. Loy, Y. K. Lee, C. Bell, M. Richards, E. Bawolek, S. Ageno, C. Moyer, M. Marrs, J. Kaminski, N. Colaneri, S. M. O'Rourke, Future Flexible OLED Displays for Army Applications. Flexible Display Center at Arizona State University.
- [40] A.R. Duggal, C. M. Heller, J. J. Shiang, J. Liu y L. N. Lewis. Solution-Processed Organic Light-Emitting Diodes for Lighting.