



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

REALIZADO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES EN
ÓPTICA, A.C.

Proyecto
FABRICACIÓN DE TRANSISTORES ÓRGANICOS DE
EFECTO DE CAMPO

Especialidad:
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

Autor:
JOSÉ ALFONSO BAUTISTA LÓPEZ

No. de Control:
10270477

Asesor Externo:
DR. ORACIO CUAHUTEMÓC BARBOSA GARCÍA

Asesor Interno:
ING. VICENTE LEÓN OROZCO

LEÓN, GUANAJUATO; 11 DE AGOSTO- 12 DICIEMBRE DE
2014

CONTENIDO

CAPITULO I	3
RESUMEN.....	3
1.1 INTRODUCCIÒN.....	4
1.2 PROBLEMATICA.....	5
1.3JUSTIFICIÒN.....	6
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
CAPITULO II	9
2.1 CARACTERIZACIÒN DEL ÀREA EN QUE SE TRABAJO.....	9
2.1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....	9
2.1.2 ORGANIGRAMA D LA EMPRESA.....	11
2.1.3 MISIÒN, VISIÒN Y VALORES.....	11
2.1.4 DESCRIPCIÒN DEL ÀREA DONDE SE REALIZÒ EL PROYECTO.....	13
CAPITULO III	15
3.1 FUNDAMENTO TEÒRICO.....	15
3.1.1 CONCEPTOS BÀSICOS.....	15
CAPITULO IV	30
4.1 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÒN.....	30
4.2 IMPLEMENTACIÒN.....	39
CAPITULO V	40
5.1 RESULTADOS.....	40
5.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
COMPETENCIAS APLICADAS Y/O DESARROLLADAS	55
REFERENCIAS	56

CAPÍTULO I

RESUMEN

Research on organic field effect transistors (OFETs) has been rapidly growing in recent years. Owing to lightweight, low cost, and low fabrication temperature, OFETs have a wide range of potential applications such as optical communication systems, advanced display technology, solid-state lighting, electrically pumped organic lasers and determination of carrier mobility. The performance of organic transistors depends largely on the quality of the insulator/organic interface, the gate insulator, the morphology of the organic thin film, and the charge injection process. This means that the interface properties between the semiconductor and the gate dielectric are of tremendous importance for the field effect mobility. This report presents the fabrication techniques such as making masks and substrates for OFETs, manufacture and storage of the active layer, the dielectric layer and electrodes thereof, as well as performing characterization measurements using equipment measurement. This work was done in the laboratories of Spectroscopy and Materials of the Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia del Centro de Investigaciones en Óptica, GPOM-CIO.

1.1 INTRODUCCIÓN

Gran parte de nuestra actividad cotidiana implica el uso de dispositivos electrónicos (ej. Teléfonos móviles, tarjetas de banco, ordenadores). En los últimos 40 años, los componentes de estos dispositivos se han basado en semiconductores inorgánicos y, en particular, en el silicio. Sin embargo, debido a las limitaciones de la tecnología del silicio, actualmente se está dedicando un gran esfuerzo científico al desarrollo de la electrónica molecular. Los dispositivos electrónicos orgánicos ofrecen propiedades muy interesantes como son flexibilidad, bajo peso, sintonizabilidad química, procesabilidad, bajo coste y biocompatibilidad. Por estos motivos, se ha especulado que aunque la utilización de moléculas orgánicas en electrónica no sustituirá los circuitos de silicio cristalino de alta densidad y alta velocidad, sí que se usará para algunas aplicaciones donde ahora se utilizan chips de silicio amorfo (por ejemplo en células solares y pantallas electrónicas) y, además, dará lugar a una gran variedad de nuevos usos y aplicaciones. Los transistores de efecto de campo son las unidades de lógica principales en los circuitos electrónicos, donde por lo general funcionan como un interruptor o un amplificador. La fabricación del primer transistor orgánico (OFET, Organic Field Effect Transistor) no llegó hasta casi 40 años más tarde, en 1986, después de que apareció el primer transistor inorgánico. Desde entonces, y gracias al gran esfuerzo realizado durante los últimos 28 años, el funcionamiento de estos dispositivos orgánicos ha mejorado enormemente. Así también ha aumentado la cantidad de compuestos orgánicos y polímeros semiconductores que se emplean para fabricarlos dependiendo del tipo de movilidad de carga que se desea obtener. En el Grupo de Propiedades Ópticas de Materia del Centro de Investigaciones en Óptica (GPOM-CIO), ha trabajado en el estudio y fabricación de dispositivos electrónicos orgánicos OLEDs y celdas solares desde hace más de 8 años, utilizando diversos materiales poliméricos y compuestos de bajo peso molecular fluorescentes, estos materiales pueden ser comerciales o sintetizados en el grupo o alguno de los grupos con los que colabora.

1.2 PROBLEMÁTICA

En el GPOM se tiene una vasta experiencia en la fabricación de celdas solares y OLEDs utilizando materiales orgánicos en su fabricación, sin embargo no hay antecedentes de que hayan utilizado o aplicado estos conocimientos sobre materiales poliméricos y compuestos fluorescentes en la fabricación y/o caracterización de otro dispositivo orgánico como el transistor de efecto de campo,

El proceso de fabricación de estos dispositivos es muy riguroso, debido a que cualquier variación en el espesor o método de depósito de cada una de las capas que componen el dispositivo, influye significativamente en su funcionamiento, por lo que se debe conocer los efectos que tiene la aplicación de diferentes espesores, concentraciones y formas de aplicar las capas poliméricas que lo componen.

Por lo que el principal problema es poder conocer los parámetros con los cuales se fabrican y depositan las capas poliméricas, la estructura con la que se depositan cada una de estas capas, el mejor material para formar los electrodos del OFET, así también como realizar las conexiones para llevar a cabo las mediciones de caracterización.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Transistores de efecto de campo orgánicos (OFET) están actualmente atrayendo intereses significativos de investigación y desarrollo industrial académicas, ya que ofrecen capacidades de rendimiento comparables a los de transistores de película delgada de silicio amorfo. Además, la importancia de los materiales orgánicos radica en su estructura y propiedades que permite que los dispositivos fabricados sean, delgados, ligeros y sobre todo flexibles abriendo una gran gama de posibles aplicaciones. Sin embargo la tecnología sobre electrónica orgánica en México es escasa, incluso en el GPOM-CIO que tiene años trabajando con este tipo de materiales y dispositivos tales como celdas solares y leds orgánicos, no tiene antecedentes respecto a la fabricación de dispositivos OFETs, por lo que con este proyecto se pretende comenzar a trabajar con este tipo de tecnología. Por lo que se necesita llegar a una metodología sobre la estructura a emplear, parámetros de depósito y concentración de los materiales poliméricos a emplear, así como conocer el proceso de medición para caracterizar estos dispositivos. Con lo que se empleará los conocimientos sobre materiales poliméricos y compuestos de bajo peso molecular que posee el GPOM-CIO, pero ahora además de fabricación de celdas solares y LEDs, también en FETs.

1.4 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Entender el funcionamiento de FETs con material orgánico para fabricar y caracterizar FETs con material orgánico.

Desarrollar la tecnología de transistores de efecto de campo con materiales orgánicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Manejo de equipos requeridos para realizar las mediciones y caracterizaciones de los dispositivos OFETs a través de programas en LabView®.

Diseño y Fabricación de máscaras y aditamentos requeridos para la elaboración de OFETs.

Fabricación y caracterización de soluciones poliméricas de las capas del OFET.

Fabricación y Caracterización de dispositivos OFETs.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Cómo se describió anteriormente, el GPOM-CIO no cuenta con antecedentes sobre el desarrollo de fabricación de estos dispositivos, por lo que este proyecto se limita inicialmente a establecer una metodología de fabricación de los aditamentos necesarios y/o requeridos, así como del dispositivo en sí. Se pretende fabricar y diseñar aditamentos tales como el sustrato, fabricar y caracterizar las soluciones poliméricas, los parámetros de depósito y concentración así como el orden o estructura de depósito de las capas del OFET y la forma en la que se realizarán las mediciones de caracterización del dispositivo. Estos dispositivos se fabricaran a nivel laboratorio, es decir, dispositivos de área pequeña buscando obtener el mejor funcionamiento posible. Debido a que no se cuenta con experiencia en el área y a que los reportes de investigación sobre estos dispositivos indican una mayor dificultad en su fabricación debido a lo significativo que llegan a ser los parámetros de espesor y concentración de la capa semiconductor y dieléctrica, existe la posibilidad de que se encuentren obstáculos o limitantes para que los dispositivos obtenidos tengan un parcial o buen funcionamiento por lo que no se realizara cálculos respectivos al OFET, sino respecto a su fabricación y cómo esto influye en su funcionamiento.

CAPÍTULO II

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPO

2.1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Acorde con el objetivo que el CONACYT estableció desde sus inicios, de fomentar una cultura competitiva basada en el desarrollo científico y tecnológico, enmarcando sus acciones en las políticas y objetivos del Plan Indicativo de Ciencia y Tecnología 1976-1982, el Consejo tuteló la fundación del Centro de Investigaciones en Óptica, Asociación Civil, (CIO), en la ciudad de León Gto. Dicho proceso de creación tuvo su inicio legal el 18 de Abril de 1980, en un acto protocolario en el que se levantó el acta constitutiva de la nueva institución, donde aparecen como firmantes quienes en la época eran autoridad en niveles de gobierno y dependencias oficiales: el Dr. Edmundo Flores, Director General del CONACYT, el Dr. Guillermo Soberón Acevedo, Rector de la UNAM, el Lic. Enrique Velasco Ibarra, Gobernador Constitucional del Estado de Guanajuato y el Lic. Harold Gabriel Appetl, Presidente del Ayuntamiento Constitucional de la Ciudad de León Gto.

La firma del acta constitutiva fue el corolario de múltiples afanes, retos, trabajo y logros previos que fueron encabezados por Dr. Daniel Malacara Hernández, primer científico mexicano en obtener un Doctorado en Optica en la Universidad de Rochester en 1965, y actual Investigador Emérito del S.N.I., quien es referencia obligada en el desarrollo de la Óptica en todo el mundo. Es esa época y desde diversos encargos y puestos científicos y académicos tanto en la UNAM (en la Facultad de Ciencias primero y más adelante en el Instituto de Astronomía) y después en el INAOE (en donde colaboró en el proyecto para fundarlo a partir del antiguo Observatorio Astrofísico de Tonantzintla), trabajó convencido de la necesidad impostergable de crear en México una institución científica del más alto nivel dedicada en exclusiva al desarrollo de la Óptica, rama del conocimiento que tal como fue previsto por él mismo, es actualmente pieza fundamental y base

estratégica de importantes y valiosos desarrollos en ciencia y tecnología.

En el esfuerzo por llevar a la realidad lo que entonces era una idea visionaria participaron desde múltiples frentes, personalidades que son ampliamente reconocidos por su trabajo académico, como el Dr. Arcadio Poveda Ricalde, quien impulsó primero la vocación científica del entonces joven estudiante Malacara, como su profesor en varios cursos en la UNAM y lo incorporó después al Instituto de Astronomía, siendo además su tutor de tesis de la licenciatura en física y alentando y apoyando sus posteriores pasos en el INAOE y en la fundación del CIO. Igualmente recibió apoyo en muchas etapas de su desarrollo profesional de parte del Dr. Guillermo Haro Barraza quien en su momento lo incluyó en el ya mencionado proyecto de transformación del Observatorio Astrofísico en Instituto Nacional y más adelante lo alentó en la constitución del CIO. Similar importancia tuvieron además los titulares de los niveles de gobierno estatal y municipal que ocupaban los cargos en el periodo previo al de quienes firmaron el acta constitutiva, pues fueron los primeros los que acogieron la idea, alentaron el impulso y otorgaron las facilidades necesarias, nunca sencillas ni desdeñables, para que la fundación del CIO llegara a buen término en el estado de Guanajuato y en la ciudad de León más concretamente, en un escenario que tuvo como ingredientes adicionales la oferta y competencia de otros estados de la república para recibir al CIO, en el marco de descentralización impulsada fuertemente en ese momento por el gobierno federal. Esas personas que con sus decisiones y apoyo concretaron el destino del Centro fueron el Lic. Luis H. Ducoing Gamba como titular del gobierno del estado y el C. Roberto Plascencia Saldaña como máxima autoridad del Consejo Municipal que regía a la ciudad de León en la época en que el CIO se gestaba.

2.1.2 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



2.1.3 MISIÓN, VISIÓN Y VALORES

Misión:

El Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. es un centro público cuyo propósito es desarrollar investigación básica y aplicada en el campo de la óptica, que contribuya a los esfuerzos de la comunidad científica para impulsar las fronteras del conocimiento y su aplicación en el sector productivo y social del país, además de la formación de recursos humanos de alto nivel, el desarrollo y la transferencia de tecnología, y la contribución de una cultura científica y tecnológica en la sociedad mexicana.

Con base en la Misión, son objetivos estratégicos del Centro:

Contribuir al conocimiento científico, a través de la investigación teórica y experimental en óptica y disciplinas afines, Fortalecer la capacidad científica y tecnológica del país, a través de programas de especialidad y postgrados de calidad internacional, Contribuir al crecimiento tecnológico del país, a través del desarrollo y la transferencia de tecnología, y Contribuir al desarrollo de una cultura científica y tecnológica en la sociedad mexicana, a través de la divulgación y difusión del conocimiento científico.

Visión:

Ser un Centro de investigación de excelencia, con liderazgo nacional y reconocimiento internacional creciente en el campo de la óptica, ocupando un lugar central en el desarrollo de la ciencia y la tecnología de nuestro país.

Valores:

Conocimiento, observancia y aplicación del marco jurídico que rige la actuación del servicio público: Conocer, respetar, cumplir y hacer cumplir la normatividad aplicable al servicio público (leyes, reglamentos, acuerdos, lineamientos, etcétera).

Uso del cargo público: Todos los empleados del CIO, estamos sujetos en el desempeño del empleo, cargo o comisión, a las obligaciones previstas en la Ley Federal de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos, a fin de salvaguardar los principios de legalidad, honradez, lealtad, imparcialidad y eficiencia que rigen en el servicio público.

Uso Transparente de la Información: Dar cumplimiento a la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental (LFTAIPG).

Uso y asignación de recursos: Los bienes, instalaciones, tiempo laboral, recursos humanos y financieros del Centro, deben ser utilizados únicamente para cumplir con sus objetivos, adoptando siempre criterios de racionalidad y ahorro.

Conflicto de intereses: Los funcionarios deberán informar a quien corresponda el hecho de encontrarse ante un conflicto de intereses en el que se pueda obtener beneficios personales a costa de los intereses del CIO.

Relaciones entre servidores públicos: Todos los trabajadores del CIO deberán conducirse con dignidad y respeto hacia sus compañeros de trabajo, no importando la edad, religión, preferencia sexual, lugar de nacimiento o nivel jerárquico.

Equidad de Género: Los funcionarios del Centro debemos atender compromisos para que se generen las condiciones que hagan posible la igualdad de oportunidades entre mujeres y hombres.

Actitud Profesional.

Salud, higiene, seguridad y mejoramiento ecológico: Colaborar para crear un adecuado ambiente de trabajo que sea seguro y saludable, con el fin de evitar poner en riesgo la salud e integridad del personal del CIO, observando el cuidado y la protección del medio ambiente.

Consideraciones éticas en las actividades sustantivas del Centro: En la búsqueda de la excelencia y el mantener la credibilidad institucional, es necesario ratificar nuestro apego al Código de Conducta, así como la observancia de principios éticos señalados en el mismo

2.1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DONDE SE REALIZÓ EL TRABAJO

El Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM) pertenece a la División de Fotónica del Centro de Investigaciones en Óptica, CIO: www.cio.mx. Es un grupo de investigación que realiza trabajo de forma interdisciplinaria e interinstitucional ya que en él se encuentran físicos, químicos e ingenieros con diversas especialidades y, tiene colaboraciones con académicos de diversas instituciones nacionales e internacionales.

Fue fundado por el Dr. Oracio Barbosa García en 1998 e inicialmente eran un total de tres investigadores, dos de ellos jóvenes académicos recientemente graduados, uno graduado en el país y otro en el extranjero; no se contaba con laboratorios. Para el año 2000 se integran otros dos jóvenes investigadores nacionales y en el 2001 un investigador de la India como posdoctoral. En ese año se logra apoyo económico institucional y de CONACyT; con el primer apoyo se obtienen espacios para los laboratorios de Espectroscopia y de Materiales y, con el segundo, se adquiere equipo inicial para ambos laboratorios. El proyecto de CONACyT fue de Grupo y en su tiempo fue el de mayor monto económico (\$ 3 800,000 M.N.) otorgado al centro siendo el responsable el Dr. Barbosa. El título de este proyecto era “Estudio de los procesos microscópicos que afectan el desempeño de materiales láser y no-lineales, su caracterización óptica y síntesis”. En el periodo 2002-2012 se han integrado otros investigadores aunque otros se han separado.

Se han logrado 14 proyectos con un monto aproximado de 30 millones de pesos y han sido principalmente institucionales, de CONCyTEG y de CONACyT. Con estos proyectos se ha dado mantenimiento al equipo mayor y comprado varios equipos adicionales para realizar los programas de investigación en los dos laboratorios del Grupo. En particular, en el año 2011 se obtuvo el proyecto CONACyT-SENER “Diseño y desarrollo de celdas solares orgánicas (OPVs) eficientes para la generación de energía eléctrica limpia” con un monto económico de \$ 8 542 500 M.N. siendo actualmente el proyecto de mayor monto logrado en el CIO por un investigador; el responsable de este proyecto es el Dr. José Luis Maldonado Rivera.

Actualmente el GPOM está constituido por 10 investigadores entre titulares, de sabático y postdoctorales.

CAPÍTULO III

3.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1.1 CONCEPTOS BÁSICOS

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN OFET

Los transistores son el bloque de construcción fundamental en los circuitos modernos, y son utilizado ya sea como amplificadores de señal o interruptores on / off. El efecto de campo es un fenómeno en el que la conductividad de un semiconductor cambia debido a la aplicación de un campo eléctrico normal a su superficie. El campo eléctrico es aplicado a través de una puerta metálica en el dispositivo. Los OFETs se componen de tres terminales, la fuente, drenaje, y la puerta, así como una capa semiconductor y una capa AISLANTE entre el semiconductor y la puerta (Figura 1). El aislador puede estar hecho de una variedad de materiales dieléctricos, aunque SiO₂ es una elección común. Muchos de los FETs son transistores orgánicos de película delgada (OTFTs, por sus siglas en inglés), debido a la estructura lineal de muchos de los OSC (Semiconductores Orgánicos, por sus siglas en inglés) son muy utilizados hoy en día. Se aplica un voltaje a la puerta para controlar la cantidad de flujo de corriente entre la fuente y el drenaje. En un OFET de tipo p, que es la variedad más común de OFET debido a la movilidad agujero/hueco relativamente alta en OSC, una tensión negativa mayor en magnitud que la tensión de umbral del material semiconductor se aplica entre la puerta y la fuente (Ecuación 1).

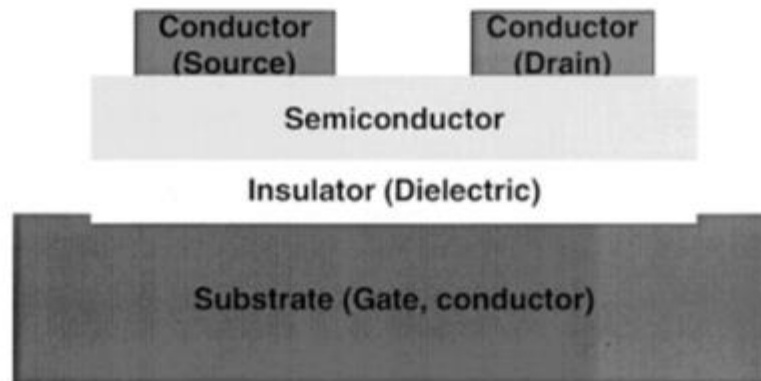


Figura 1. Estructura típica de transistor de efecto de campo de película delgada.

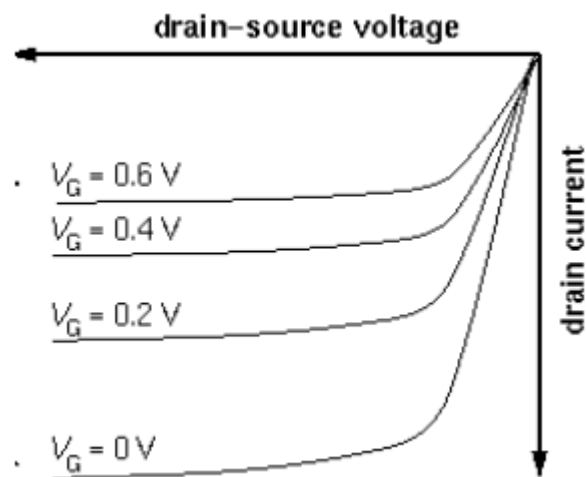


Figura 2. El comportamiento típico de corriente-tensión para un FET de tipo p.

$V_{GS} < -V_t$	Ecuación 1
-----------------	-------------------

Esta tensión provoca un canal de tipo p para formar en la interfaz semiconductor-aislante. Un voltaje negativo también se aplica entre el drenaje y la fuente, causando que los huecos fluyan desde la fuente al drenaje. Este comportamiento es equivalente a una corriente negativa que fluye desde el drenaje a la fuente. Como la magnitud de la tensión de drenaje-fuente aumenta, la magnitud de la corriente de drenaje-fuente también aumenta hasta “*pinch-off*”, en cuyo punto el

canal p se cierra en un lado y el drenaje se satura en su valor máximo. La magnitud de la corriente de saturación depende del voltaje de la puerta-fuente (Figura 2). Aunque los OFETs tipo p son mucho más comunes que OFETs de tipo n, algunos OFETs de tipo n se han investigado. En el caso de OFETs de tipo n, el comportamiento corriente-voltaje es similar, pero los valores son en el primer cuadrante en lugar de la tercera debido a la carga opuesta de electrones y huecos.

La investigación en OFET generalmente busca optimizar dos valores importantes, la movilidad del portador y la relación de encendido / apagado actual. La movilidad del portador es directamente proporcional a la conductividad de los semiconductores, y está por lo tanto directamente relacionado con el rendimiento del dispositivo. Movilidades en el rango de 0,1 a 1,0 cm^2 / Vs se consideran bastante buenos, pero estos valores sólo se han logrado para huecos y son frecuentes los valores de movilidad de este tipo, e inferior. La relación actual de activación / desactivación es la relación de la corriente de saturación cuando V_{GS} es alta a la fuga actual cuando V_{GS} es cero. El aumento de esta relación es importante en la “*switchlike*”, un comportamiento típico de OFETs. Relaciones de activación / desactivación de hasta 108 han sido reportados para algunos OFETs, aunque generalmente los valores reportados son más bajos.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE OFETS

ELECTRODOS FUENTE-DRENAJE

El diseño de la configuración del dispositivo tiene una gran influencia en las propiedades electrónicas finales. Por ejemplo, la elección del metal de los contactos Source y Drain afectará la resistencia de contacto. Así, es importante elegir los electrodos de metal según la naturaleza de los semiconductores orgánicos para tener una inyección de cargas eficiente.

Es decir, para un material de tipo n será más conveniente disponer de un metal con una función de trabajo (energía mínima necesaria para extraer un electrón del nivel de Fermi al vacío) baja, mientras que para un material de tipo p será más adecuado utilizar un metal con una alta función de trabajo.

Generalmente, el oro es el metal más utilizado en los OFETs, y tiene una función de trabajo de 5.1 eV, valor cercano al potencial de ionización de la mayoría de los semiconductores orgánicos de tipo p. Por lo tanto, el oro es un metal muy adecuado para la inyección de huecos en el HOMO PONER LA DEFINICION DE HOMO!!! de los materiales orgánicos que se comportan como semiconductores p, pero para este proyecto se utilizó el ITO (~~óxido de indio-estaño~~) y FIELDS METAL.

- ITO.- Es un óxido de indio-estaño que presenta muy buena conductividad eléctrica y transparencia óptica. Es muy utilizado en pantallas táctiles, de plasma, planas, OLEDs, OPVS, etc. Sin embargo es un compuesto muy frágil por lo que cualquier movimiento mecánico lo puede dañar.

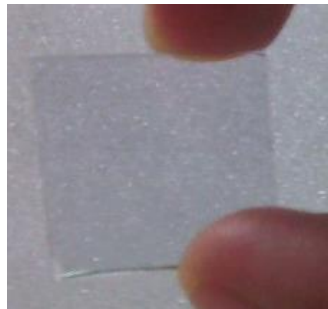


Figura 3. Sustrato de vidrio con ITO en una de sus superficies.

- Fields Metal.- Este último es una aleación de Bi, In y Sn (32.5 %, 51 %, 16.5 %), que funde aproximadamente a 65 °C y es muy fácil de depositar.

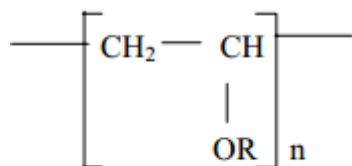


Figura 4. Trozos de Fields metal.

CAPA DIELECTRICA

El material dieléctrico también es fundamental para el buen funcionamiento del dispositivo, ya que influirá en el campo eléctrico que se crea a lo largo de él, la fuga de corriente a través del dieléctrico y la calidad de la interface entre el semiconductor orgánico y el dieléctrico. El dieléctrico más utilizado en OFETs ha sido el SiO₂ crecido sobre silicio dopado, siguiendo las mismas tecnologías ya establecidas para la microelectrónica inorgánica. Las características de los dieléctricos también pueden ser modificadas con tratamientos de superficie. Por ejemplo, la preparación de monocapas autoensambladas de moléculas orgánicas sobre el dióxido de silicio puede transformar el carácter hidrofílico del óxido en hidrofóbico, lo que mejora la deposición del material orgánico. Se ha demostrado que estos tratamientos suelen tener efectos muy significativos sobre la estructura de la película orgánica y por consiguiente en sus propiedades eléctricas. En los últimos años, se ha estudiado mucho la influencia de los diferentes tipos de dieléctricos inorgánicos sobre el rendimiento del OFET, y también se han empleado dieléctricos orgánicos ya que estos son compatibles con técnicas de procesado a partir de disolución y a baja temperatura y con el uso de sustratos flexibles. Se utilizó polímeros dieléctricos como el PVA y PMMA.

- PVA.- El alcohol de polivinilo (PVOH, PVA, o Pval), también llamado polietenol o poli (alcohol vinílico), es un polímero sintético soluble en agua, de fórmula química general (C₂H₄O)_n. No debe confundirse con acetato de polivinilo, un popular pegamento de madera.



where R = H or COCH₃



Figura 5. Estructura química y solución de PVA en Agua.

- **PMMA.**- El **PMMA** es un polímero termoplástico altamente transparente que se obtiene de la polimerización del monómero metilmetacrilato. Debido a su transparencia, estética y resistencia a los rasguños, el **PMMA** se puede considerar como una alternativa ligera al cristal.

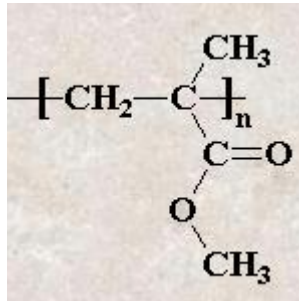


Figura 6. Estructura química de PMMA.

MATERIAL ORGÁNICO SEMICONDUCTOR

Los semiconductores orgánicos se pueden depositar en el dispositivo a partir de una disolución utilizando técnicas como el drop-casting o el spin-coating. Estas técnicas suponen la vía más prometedora para la producción de dispositivos de bajo coste y sobre grandes superficies. Además, son compatibles con técnicas de estampado o técnicas de impresión, y por lo tanto, permiten preparar patrones de los semiconductores orgánicos prescindiendo de las técnicas de litografía.

Sin embargo, dado que a menudo los semiconductores orgánicos no son muy solubles, una alternativa mucho más extendida ha sido la deposición por sublimación de la materia orgánica haciendo uso de una gran variedad de sistemas de deposición al vacío. En estos casos, parámetros tales como la presión y la temperatura del sustrato determinan la morfología y la calidad de las películas orgánicas resultantes. Se utilizó el compuesto MEH-PPV (Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene]) como material polimérico fluorescente orgánico semiconductor.

- MEH-PPV: Es un polímero semiconductor fluorescente de tipo P con una emisión máxima alrededor de los 554nm, correspondiente al color naranja. Sus niveles de energía HOMO y LUMO son 5.3 eV y 3 eV respectivamente, por lo que cuenta con un bandgap de 2.3 eV. La disolución para el depósito de películas puede ser preparada con clorobenceno, cloroformo, tolueno u otros disolventes orgánicos.

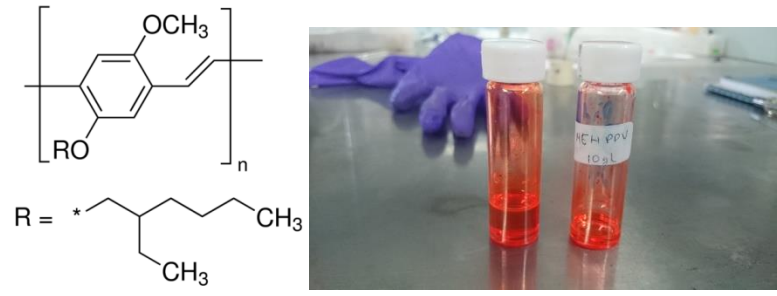


Figura 7. Estructura química y solución de MEH-PPV.

CONFIGURACIÓN DE ESTRUCTURA

Debido a la flexibilidad en la colocación relativa de los electrodos de fuente-drenaje, la capa de semiconductor orgánico, y la capa dieléctrica, en OFETs, hay cuatro posibles configuraciones: (i) parte inferior de puerta, de abajo de contacto; (ii) de abajo hacia la puerta, arriba de contacto; (iii) puerta superior, inferior-contacto y (iv) la parte superior-gate, top-contacto, como se muestra en la Figura. 8. El uso de cualquiera de estas configuraciones depende de la disponibilidad de sustratos adecuados y la técnica de fabricación disponibles. Por ejemplo, muchos OFETs se basan en la configuración de abajo a contacto con el fondo puerta debido a la disponibilidad de alta calidad litográfica estampadas-matrices de electrodos de oro fuente-drenaje en el silicio-óxido térmico crecido sobre un sustrato de silicio dopado que actúa como la puerta.

Cada vez más, hay una tendencia a que los grupos de investigación migren hacia la configuración de abajo a contacto superior puerta que se considera una estructura más práctica para la fabricación en los circuitos. En algunos casos, la configuración de la parte superior-inferior-gate contacto se utiliza para explotar las propiedades de aislamientos naturales y de monocapa auto-ensamblaje sobre el óxido nativo de ciertos electrodos de metal. Ciertas configuraciones, tales como la parte superior-inferior-puerta de contacto y configuraciones de abajo hacia arriba puerta de contacto, se benefician particularmente de la resistencia de contacto baja debido a la posibilidad de inyectar y portadores extraído sobre un amplio frente de los electrodos de fuente y drenaje.

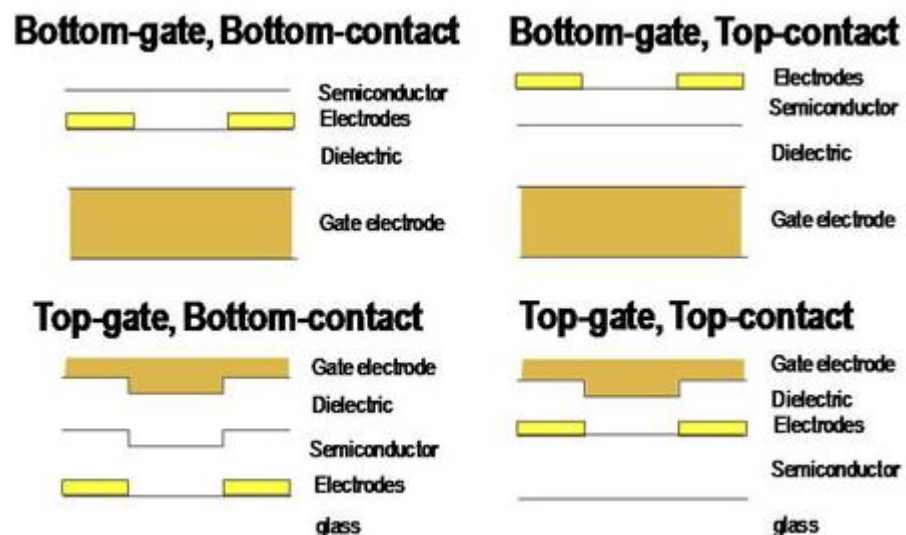


Figura 8. Configuraciones típicas para OFETs.

El transporte de carga en OFETs se produce dentro de 1-2 nanómetros de los semiconductores / interfaz dieléctrico. Por lo tanto las propiedades de esta interfaz tales como su rugosidad, defecto y densidad de trampas, y la orientación y entre cadenas de embalaje de las moléculas o macromoléculas OFET, es fundamental para el rendimiento del dispositivo. La comprensión y la optimización de las propiedades de esta capa interfacial proporcionarán la clave para futuros avances en el cumplimiento de OFETs.

EQUIPOS UTILIZADOS EN LABORATORIO

- **Spin Coating:** Esta técnica se emplea para depositar películas delgadas a partir de la disolución de un polímero. En el proceso se coloca un poco de solución sobre el sustrato y se somete a una rotación controlada para conseguir un revestimiento fino y homogéneo de ella sobre el sustrato. Para este equipo el tiempo y la velocidad de giro pueden ser controlados, la velocidad puede variar entre 900 – 8000 rpm, dependiendo del espesor que se desee lograr son las revoluciones configuradas.



Figura 9. Spin-Coating del laboratorio del GPOM-CIO.

- **Parrilla eléctrica:** Las parrillas empleadas en el laboratorio, además del sistema de calentamiento, cuentan con sistema de agitación magnético y se utilizan para agitar y calentar las disoluciones de polímero. La solubilidad de los polímeros en los disolventes orgánicos aumenta con la temperatura, es por ello que es conveniente la agitación en presencia de calor. Adicionalmente el control preciso de la temperatura sirvió para dar un tratamiento térmico a las películas depositadas. El tratamiento térmico ayuda a la evaporación de los disolventes empleados en las disoluciones.



Figura 10. Una de las parrillas eléctricas empleadas en el GPOM.

- **AFM (Atomic Force Microscope):** El Microscopio de fuerza atómica (AFM, por sus siglas en inglés Atomic Force Microscope) es un instrumento mecano-óptico que se emplea para “escanear” una superficie mediante una punta llamada cantiléver; esta punta aplica una fuerza sobre la superficie de la muestra del orden de los nanonewtons. Al escanear una muestra, es capaz de registrar continuamente su topografía mediante el cantiléver que es una punta afilada de forma piramidal o cónica. La sonda va acoplada a un listón o palanca microscópica muy flexible de sólo unos 200 μm .

El microscopio de fuerza atómica ha sido esencial en el desarrollo de la nanotecnología, para la caracterización y visualización de muestras a dimensiones nanométricas.

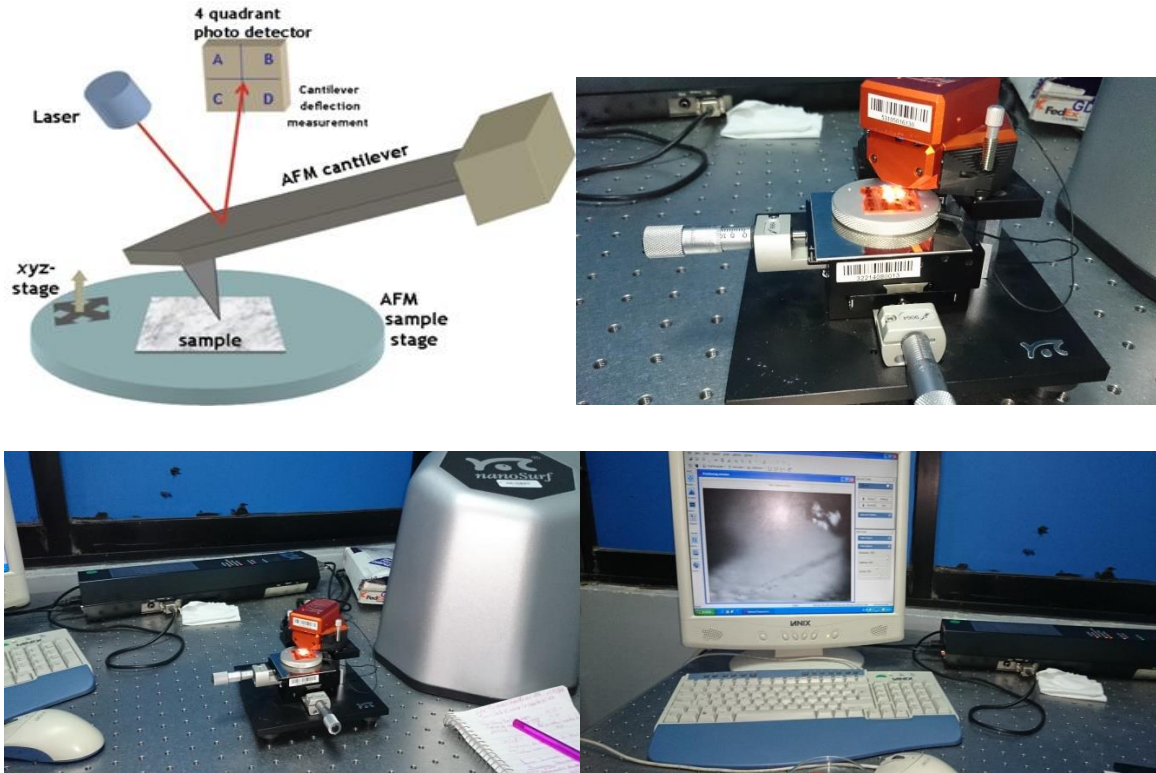


Figura 11. Microscopio de fuerza atómica, NanoSurf utilizado en los laboratorios del GPOM-CIO, así como su funcionamiento básico.

- **Baño Ultrasónico:** La sonicación es la aplicación de la energía de ondas mecánicas en el rango del ultrasonido para agitar las partículas de una muestra. Una corriente eléctrica es aplicada a un sistema piezoeléctrico que genera vibraciones ultrasónicas. El equipo puede ser programado con diferentes tiempos de funcionamiento e igualmente puede regularse la temperatura de trabajo.



Figura 12. Equipo para realizar baño sónico utilizado en el laboratorio de materiales del GPOM, para sonicar soluciones y compuestos.

- **Keithley 2400,2450 e interfaz de usuario:** Es una fuente-medidor de voltaje y corriente que ofrece exactitud y sensibilidad. El GPOM-CIO se cuenta con los modelos 2400 y 2450. La interfaz fue desarrollada en LabView, con éste es posible observar el comportamiento de una celda, un OLED o un OFET que se desarrollan dentro del GPOM.

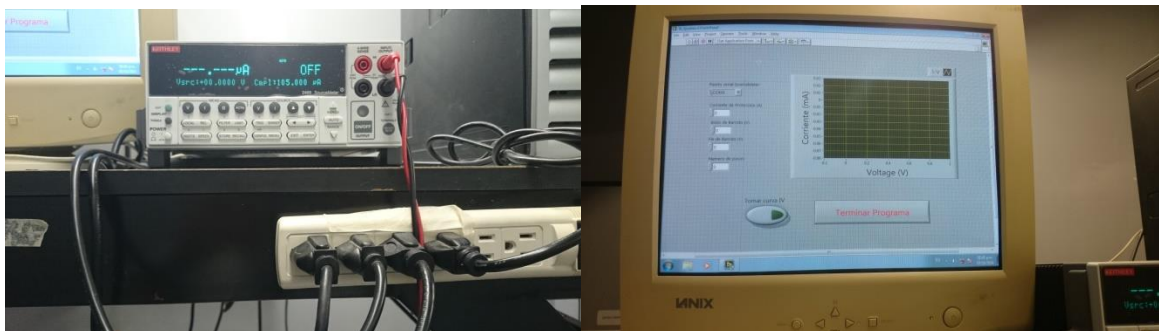


Figura 13. Keithley 2400 e interfaz de usuario hecho en LabView.

- **GPC-3030D Lab DC Power Supply Unit PSU Dual Tracking with 5V Fixed:** A diferencia de los Keithley 2400 y 2450, es solo una fuente de voltaje y corriente, y el cual en el cual no puede llevarse una comunicación tipo serial por lo que su uso es puramente manual.

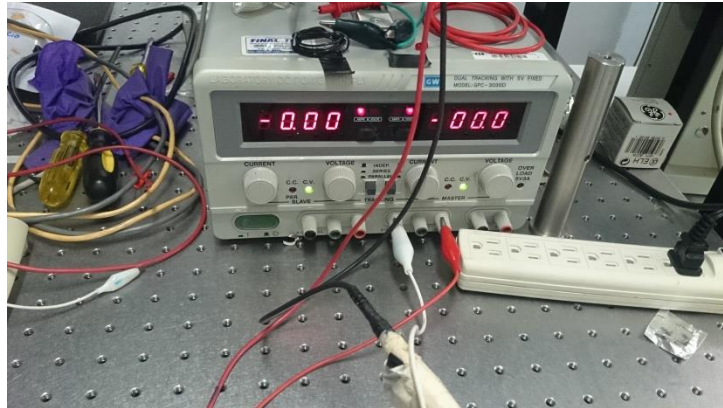


Figura 14. Equipo GPC-3030D Lab DC Power Supply Unit utilizado por el GPOM, para mediciones que requieren más de una fuente.

Tratamiento de Plasma: El plasma es un gas parcialmente ionizado compuesto de iones, radicales, metaestables, y moléculas neutras. Realiza el trabajo de pulido de la superficie de un sustrato, es decir, remueve impurezas y restos de residuos orgánicos, además de que activa una capa hidrofóbica para volverla hidrofílica o bien cuando se requieren superficies completamente limpias. Se puede utilizar tratamiento de plasma con oxígeno (efectivo para eliminar grasas y aceites de las superficies), nitrógeno o hidrogeno (poderoso agente reductor, elimina películas de óxido de los metales). El plasma reacciona con las moléculas depositadas sobre la superficie de la pieza de trabajo, las rompe y las convierte en compuestos volátiles. El tiempo de la muestra a exposición del tratamiento de plasma depende principalmente del tiempo de vida del equipo. Las muestras pueden ser expuestas desde unos cuantos segundos hasta horas de 0 – 100W de potencia.



Figura 15. Equipo utilizado en el laboratorio de materiales, para llevar a cabo el tratamiento de plasma a sustratos o muestras que lo requieran.

FOTOLITOGRAFÍA

Para la obtención de los sustratos de los OFET, se empleó el método de Litografía sobre un sustrato de vidrio, pero aplicando este método de dos formas distintas para remover el ITO del sustrato y dejar grabada la máscara base para los electrodos del mismo; Litografía y Fotolitografía.

En la fotolitografía, los patrones se hacen por la exposición de una capa delgada de una laca fotosensible (es decir, fotorresistente) sobre un sustrato a través de una máscara. La fotomáscara se hace generalmente de vidrio y una capa bloqueadora de la luz delgada, típicamente hecha de cromo. Exposición a la luz induce un cambio químico del material sensible a la luz, el cambio de su solubilidad en una solución reveladora. Para la parte positiva se resiste a la exposición, y el tono negativo se resiste a las regiones no expuestas se eliminan en desarrollo, dando como resultado una tridimensional réplica o invertida réplica de la fotomáscara sobre el sustrato.

La fotomáscara modelado se puede utilizar en una etapa de proceso posterior como corrosión enmascarar el fin de definir las características de la oblea.

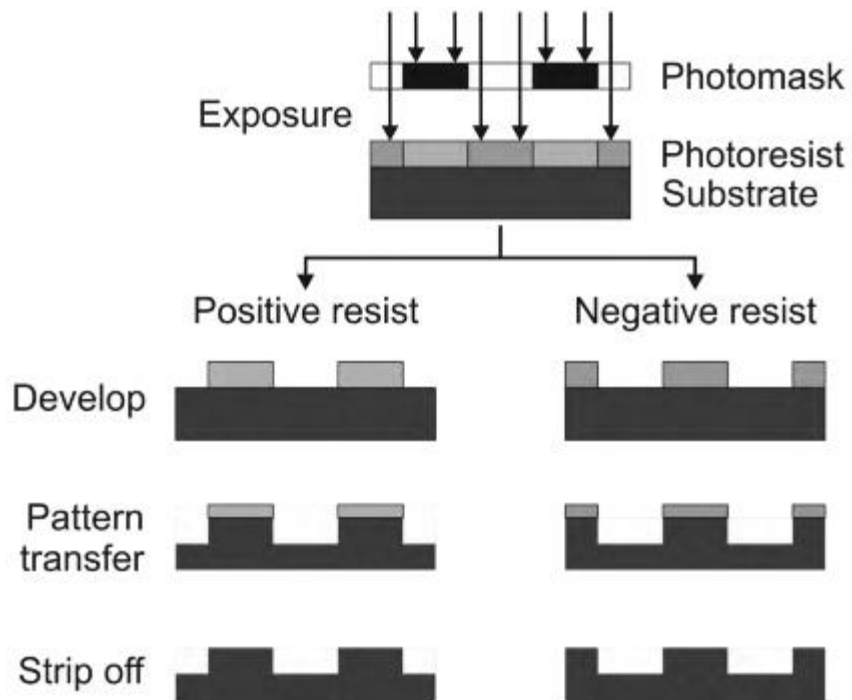


Figura 16. Proceso de Fotolitografía para lados positivos y negativos.

CAPÍTULO IV

4.1 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁSCARA SOBRE SUSTRATO

Para implementar el diseño de los electrodos que conforman el OFET, se utilizó litografía y fotolitografía.

El modelo que se su propuso es similar al que se observa en la figura 16.

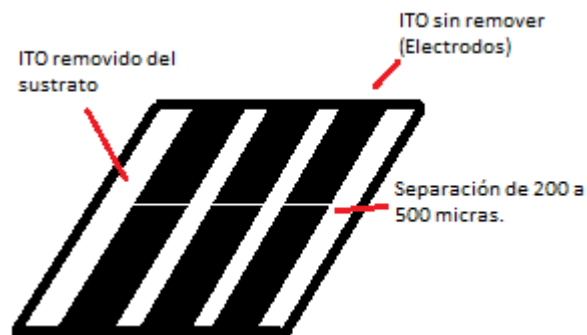


Figura 17. Modelo de la máscara propuesto para los electrodos del OFET de 1.5 cm de ancho x 2 cm de largo..

FOTOLITOGRAFÍA.

Como se mencionó anteriormente se realizaron dos modos de llevar a cabo la litografía de la máscara sobre el sustrato con ITO. El primer modo fue utilizando el método de fotolitografía, en el cual se usó un compuesto fotosensible (fotoresist) El cual se depositaba sobre el sustrato utilizando el método de spin-coating a diferentes Rpm (revoluciones por minuto) y aceleraciones distintas, tal y como se muestra en las siguientes tablas.

Antes de hacer el depósito de la capa de fotoresist sobre el sustrato, se realizó una pre limpieza tal y como se observa a continuación.

Tratamiento	Solvente	Tiempo
Baño Sónico	Agua c/jabón	10 min
Baño Sónico	Acetona	5 min
Baño Sónico	Cloroformo	10 min
Baño Sónico	Acetona	10 min

Tabla 1. Tiempo y tipo de solvente orgánico utilizado para llevar a cabo la limpieza del sustrato de vidrio con ITO.



Figura 18. Fotoresist empleado para hacer el diseño de las máscaras por fotolitografía, y modo en el que se llevó a cabo el proceso de depósito con spin-coating.

Rpm	Aceleración
2000	80
2000	100
2000	250
2000	500

Tabla 2. Parámetros de depósito del material fotoresist. Prueba 1.

Rpm	Aceleración
1000	250
1000	500

Tabla 3. Parámetros de depósito del material fotoresist. Prueba 2.

Rpm	Aceleración
2000	70
1800	60
1600	50
1500	120
1500	100
1300	20

Tabla 4. Parámetros de depósito del material fotoresist. Prueba 3.

Después de depositar la capa de fotoresist, se procede a plasmar la máscara, para ellos se utilizó una pequeña placa de papel acetato y con un plumón negro permanente se dibuja el bosquejo de la figura 16 en él. Luego esta placa de papel acetato se coloca encima de la cara del sustrato donde se depositó el fotoresist, y se deja expuesto a luz ultravioleta por 5 min. . Posteriormente se retira de la luz ultra violeta, se quita la placa de papel acetato y se sumerge en una solución acuosa, para este caso se utilizó una solución de 1 parte de NAOH y 10 partes de agua (1 ml de NAOH por cada 10 ml de Agua).

Se sumerge el sustrato en esta solución y se agita con un leve movimiento de muñeca, hasta que se observa que se remueve el fotoresist que fue atacado por la luz ultravioleta.

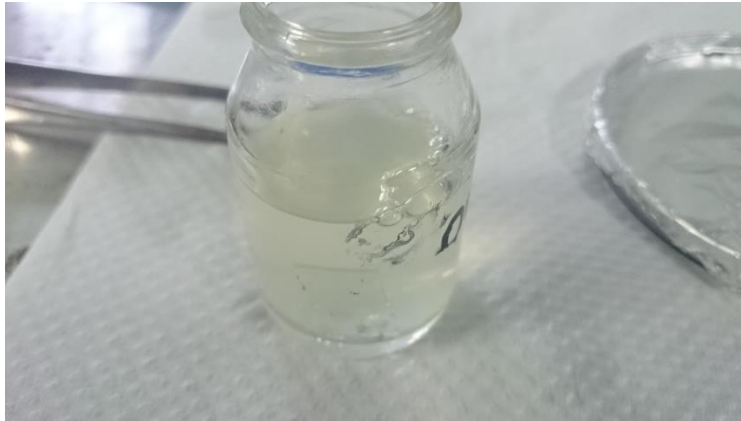


Figura 19. Pequeño recipiente de cristal donde se preparó una pequeña cantidad de solución reveladora, para remover el fotoresist que a sido atacado con luz ultravioleta.

LITOGRAFÍA

Para este método de litografía se procedió a utilizar cinta mágica (Magic Tape) para plasmar la máscara sobre el sustrato con ITO, tal y como se observa en la siguientes imágenes.



Figura 20. Una primera capa de Magic Tape para plasmar los rectángulos horizontales correspondientes a los electrodos.



Figura 21. Un segundo trazo, para plasmar el canal conductivo o separación entre electrodos.

MÉTODO PARA REMOVER EL ITO DEL SUSTRATO.

Para remover el ITO del sustrato para los dos casos que se mencionaron anteriormente se utilizó el mismo medio. Para ello se preparó una solución conocida como “solución piraña”, la cual se encuentra formada por 7 partes de HCL, 7 partes de agua 1 parte de HNO₃ (ácido nítrico) (1 ml de HNO₃ por cada 7 ml de agua y HCL) el cual se prepara en recipiente de vidrio con tapa y antes de usarse se debe precalentar y mantener a 80 °C todo el tiempo que se esté utilizando.

Una vez lista la solución para utilizarse, se sumerge el sustrato con fotoresist o magic tape, y se mantiene sumergido durante 30 a 45 segundos y se saca. Rápidamente después de sacar el sustrato de la solución piraña, se coloca dentro de agua con jabón y se somete a un baño sónico durante 10 minutos, con el fin de remover cualquier residuo de la solución piraña del sustrato y evitar que siga corroyendo partes de ITO que no se deben de remover del sustrato.

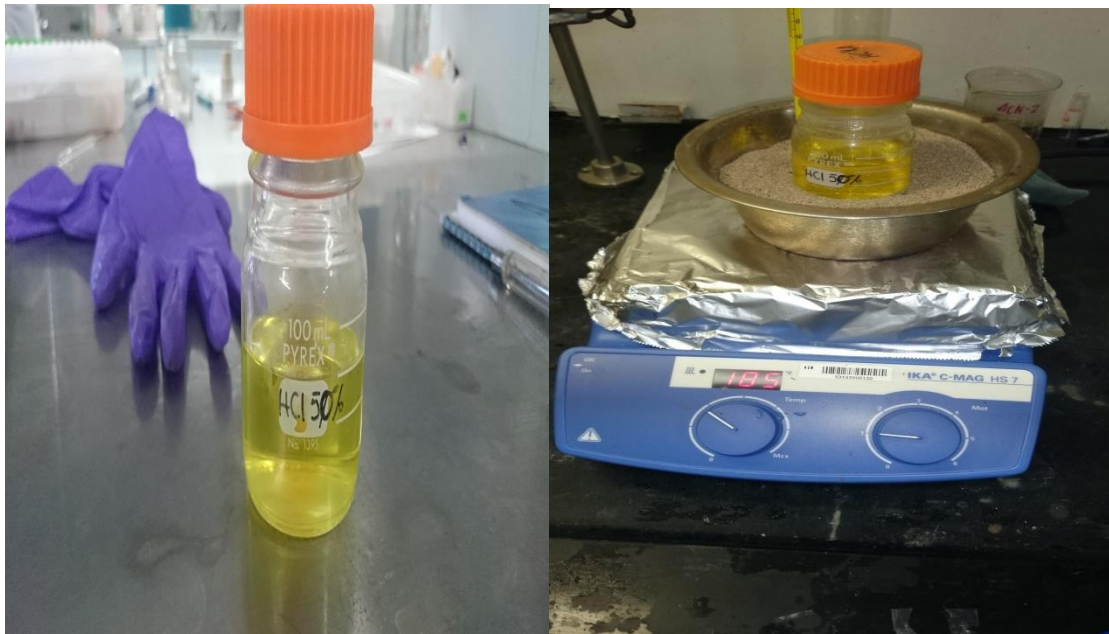


Figura 22. Recipiente de cristal con tapa de rosca donde se preparó la “solución piraña”, y utilización de la parrilla eléctrica para calentar la solución de manera gradual.

CARACTERIZACIÓN DE LA CAPA ACTIVA DEL OFET (SEMICONDUCTOR ORGANICO MEH-PPV).

Para la caracterización de la capa activa con MEH-PPV del OFET, se prepararon soluciones con diferentes concentraciones de este compuesto en Cloroformo como se muestra en la siguiente tabla.

Solvente	Soluto	Concentración
Cloroformo	MEH-PPV	40 mg/mL
Cloroformo	MEH-PPV	20 mg/mL
Cloroformo	MEH-PPV	17.5 mg/ml
Cloroformo	MEH-PPV	15 mg/ml
Cloroformo	MEH-PPV	10 mg/ml
Cloroformo	MEH-PPV	7.5 mg /ml
Cloroformo	MEH-PPV	6 mg /ml
Cloroformo	MEH-PPV	3.5 mg/ml

Tabla 5. Concentraciones de soluciones de MEH-PPV en Cloroformo

Para cada una de las concentraciones anteriores se probaron diferentes parámetros de depósito en el spin-coating.

Rpm	Aceleración	Observaciones
2000	500	Capa uniforme delgada
2000	250	Capa uniforme delgada
2000	200	Capa uniforme delgada
2000	100	Capa uniforme mediana

Tabla 6. Parámetros de depósito de las soluciones mencionadas en la tabla 4.

CARACTERIZACIÓN DE LA CAPA DIELECTRICA (MATERIAL POLIMÉRICO DIELECTRICO PVA Y PMMA).

Al igual que con la capa activa, se prepararon soluciones con los materiales poliméricos dieléctricos de diferentes concentraciones como se muestra a continuación.

Solvente	Soluto	Concentración
Agua	PVA	40 mg/mL
Agua:Alcohol Isopropilico (1:1)	PVA	20 mg/mL
Agua:Alcohol Isopropilico (3:1)	PVA	20 mg/ml
ANISOL	PMMA	40 mg/ml

Tabla 7. Concentraciones de soluciones de PVA y PMMA en diferentes solventes.

DEPÓSITO DE CAPA ADICIONAL (BUFFER).

Se implementó una capa adicional después de depositar la capa dieléctrica, como un complemento adicional para mejorar la calidad aislante del dieléctrico entre el Gate y Drain del OFET. Para ello se utilizó un compuesto polimérico PEDOT:PSS que es un polímeros conductor que tiene niveles de conductividad 10^{-4} a 10^3 S/cm.

DEPÓSITO DEL ELECTRODO (GATE)

Para depositar el Fields Metal como Gate del OFET se siguieron los siguientes pasos:

1. Precalentar la parrilla eléctrica entre 60 y 80°C
2. Colocar suficientes trozos de Fields Metal sobre una espátula metálica o un trozo de papel aluminio para poder manipularlo sobre la parrilla eléctrica.
3. Dejar calentar lo suficiente , hasta que el Fields Metal se funda totalmente
4. Una vez que el Fields Metal se encuentra totalmente fundido, se deposita de manera centrada en el OFET, formando una especie de botón pequeño que abarque la zona del canal conductivo.
5. Y se deja enfriar por algunos minutos, hasta observar que se ha solidificado totalmente.

METODOLOGÍA PARA FABRICAR EL OFET.

De manera general se plantea la siguiente metodología para la fabricación de OFETs en los siguientes pasos.

1. Limpieza del sustrato utilizando el Baño Sónico y solventes orgánicos en un vaso de precipitados, de la siguiente manera: 10 minutos en Agua con jabón, 5 minutos en Acetona, 10 minutos en cloroformo y 10 min en Acetona.

2. Tratamiento de Plasma al sustrato previamente limpio durante 20 min a 100 watts.
3. Depósito de la capa activa (semiconductor orgánico) de MEH-PPV.
4. Secado de la capa activa en la Muffla Térmica por 15 minutos a 80°C.
5. (Opcional)Corto Tratamiento de Plasma a la capa activa por 0.5 minutos a 20 watts. Cuando la siguiente capa a depositar es hidrofóbica como las soluciones de PVA: AGUA.
6. Depósito de la capa dieléctrica (PVA o PMMA).
7. Secado de la capa dieléctrica en la Muffla Térmica por 15 minutos a 80°C.
8. Tratamiento de plasma a la capa dieléctrica por 1 minuto a 20 watts.
9. Depósito de la capa auxiliar o buffer (PEDOT: PSS).
10. Secado de la capa auxiliar en la Muffla Térmica por 15 minutos a 80°C
11. Depósito del electrodo (Fields Metal) Gate con ayuda de la parrilla eléctrica entre 60 y 80°C.

4.2 IMPLEMENTACIÓN

Como se mencionó anteriormente, el ser el propósito de este trabajo el iniciar con la línea de investigación de este tipo de dispositivos electrónicos orgánicos en el GPOM-CIO, hasta el momento los resultados obtenidos son pruebas para poder observar la funcionalidad y estabilidad de estos dispositivos, así como buscar obtener los mejores parámetros posibles y estructuras de construcción, por lo que su implementación como tal aún no se puede llevar a cabo. Es importante mencionar que son los primero prototipos que se están desarrollando y con los que se trabajan por lo que su funcionalidad aún es incompleta, y presentan inestabilidad debido a que en el laboratorio no se cuentan con todos los aditamentos para su fabricación.

Una vez que se solucionen estos problemas y obteniendo mejores estructuras, soluciones y modelos de fabricación, se podrá indagar en nuevas ramas de investigación y de aplicación de estos dispositivos funcionando ya sea como conmutadores o amplificadores, controlando el flujo de corriente en los circuitos electrónicos, como lo haría uno inorgánico comercial.

CAPÍTULO V

5.1 RESULTADOS

RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA MÁSCARA SOBRE EL SUSTRATO.

Para el primer método de obtención de la máscara por medio del fotoresist, se muestran en las siguientes tablas.

Rpm	Aceleración	Observaciones
2000	80	Capa aproximadamente uniforme
2000	100	Capa no uniforme
2000	250	Capa no uniforme
2000	500	Capa no uniforme

Tabla 8. Resultados de la primera prueba.

Rpm	Aceleración	Observaciones
1000	250	Capa aproximadamente uniforme
1000	500	Capa aproximadamente uniforme

Tabla 9. Resultados de la segunda prueba

Rpm	Aceleración	Observaciones
2000	70	Capa muy uniforme
1800	60	Capa muy uniforme
1600	50	Capa casi uniforme
1500	120	Capa aproximadamente uniforme
1500	100	Capa aproximadamente uniforme
1300	20	Capa aproximadamente uniforme

Tabla 10. Resultados de la tercera prueba.

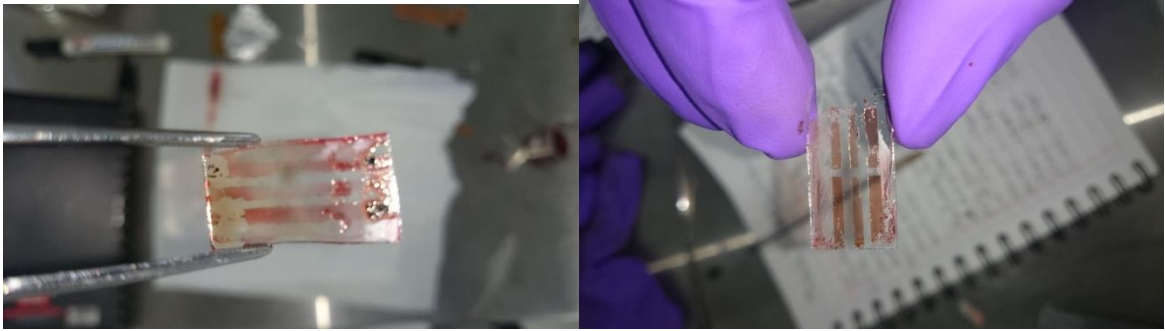


Figura 23. Algunos resultados generales al remover el fotoresist de las capas después de que fueran atacadas con luz ultravioleta.

Como se puede observar en la figura 23, sin importar que la película de fotoresist fuera total o parcialmente homogénea sobre el sustrato, la capa de fotoresist que no fue atacada con luz ultravioleta no era capaz de mantenerse completamente después de realizar el revelado en la solución acuosa, por lo que se descartó este método para remover el ITO de los sustratos de vidrio, ya que la máscara formada por el fotoresist no sería capaz de mantenerse.

RESULTADOS DE REMOVER EL ITO DEL SUSTRATO CON LITOGRAFÍA.

A diferencia del método por fotolitografía, realizar este procedimiento con ayuda de Magic Tape, muestra claras ventajas, ya que no se requiere una rigurosa limpieza en el sustrato, así como también no involucra algún otro procedimiento anterior a ser sumergido a la solución piraña para remover el ITO del sustrato.

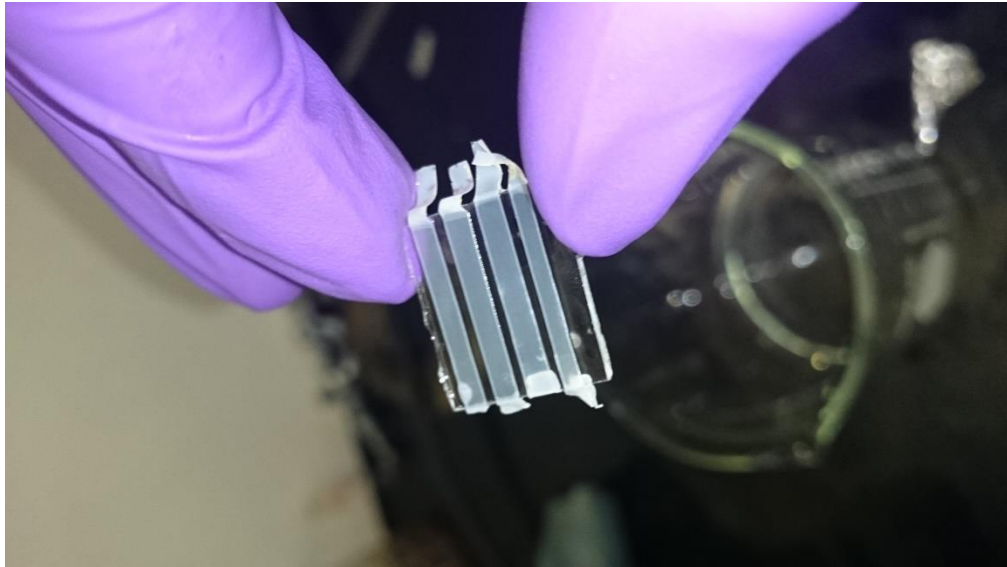


Figura 24. Primer paso para remover el ITO del sustrato utilizando Magic Tape.

Como se observa en la imagen, el Magic Tape es lo suficiente resistente para soportar el tratamiento de 30-45 segundo en la solución piraña y remover el ITO de las partes que no se encuentran cubiertas por éste.

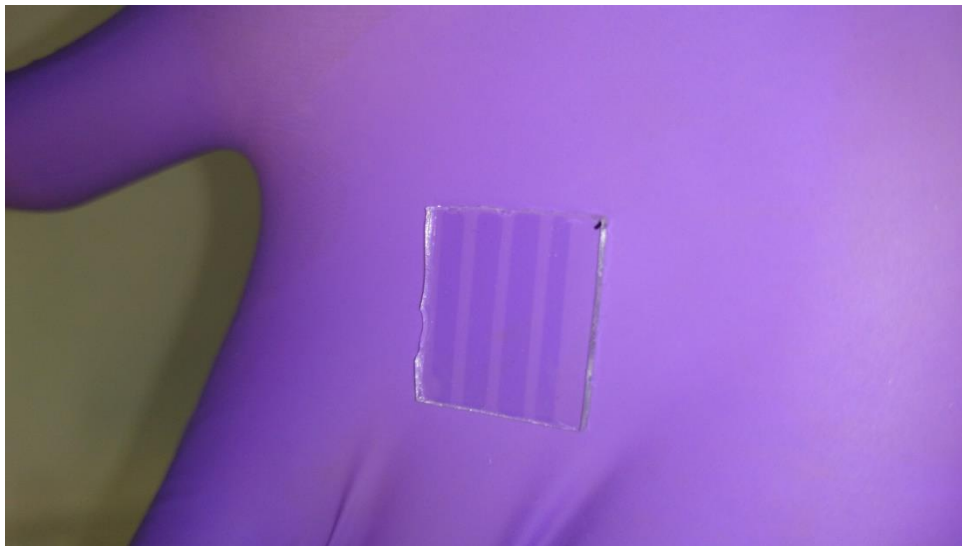


Figura 25. Primer Sustrato al que se le plasma la máscara de los electrodos.

Por lo que después de realizarse el baño sónico en agua con jabón por 10 minutos, se obtiene el primer sustrato plasmado con los correspondientes electrodos del OFET (Source y Drain).

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CAPA ACTIVA CON MEH-PPV.

Los resultados que se obtuvieron aplicando los parámetros de la tabla 6, utilizando las concentraciones expuestas en la tabla 5 y con ayuda del equipo de AFM NanoSurf para obtener los espesores aproximados, se muestran a continuación.

Rpm	Aceleración	Concentración	Espesor
2000	500	40 mg/ml	82 nm
2000	250	40 mg/ml	88 nm
2000	200	40 mg/ml	93 nm
2000	100	40 mg/ml	100 nm
2000	500	20 mg/ml	76 nm
2000	250	20 mg/ml	71 nm
2000	200	20 mg/ml	73 nm
2000	100	20 mg/ml	78 nm
2000	500	17.5 mg/ml	70 nm
2000	250	17.5 mg/ml	75 nm
2000	200	17.5 mg/ml	80 nm
2000	100	17.5 mg/ml	85 nm
2000	500	15 mg/ml	66nm
2000	250	15 mg/ml	70 nm
2000	200	15 mg/ml	74 nm
2000	100	15 mg/ml	78 nm
2000	500	10 mg/ml	61 nm
2000	250	10 mg/ml	66 nm

2000	200	10 mg/ml	71 nm
2000	100	10 mg/ml	76 nm
2000	500	7.5 mg /ml	57 nm
2000	250	7.5 mg /ml	61 nm
2000	200	7.5 mg /ml	65 nm
2000	100	7.5 mg /ml	69 nm
2000	500	6 mg /ml	55 nm
2000	250	6 mg /ml	57 nm
2000	200	6 mg /ml	59 nm
2000	100	6 mg /ml	61 nm
2000	500	3.5 mg/ml	49 nm
2000	250	3.5 mg/ml	41 nm
2000	200	3.5 mg/ml	38 nm
2000	100	3.5 mg/ml	35 nm

Tabla 11. Resultados de la caracterización de la capa activa.

De los resultados anteriores, se optó por manejar los parámetros utilizados para obtener un espesor promedio de 80 y 100 nm para la capa activa, debido a que su morfología de acuerdo a lo analizado con el AFM NanoSurf fueron las más estables.

Rpm	Aceleración	Concentración	Espesor
2000	200	17.5 mg/ml	80 nm
2000	100	40 mg/ml	100 nm

Tabla 12. Parámetros elegidos para la deposición de la capa activa.

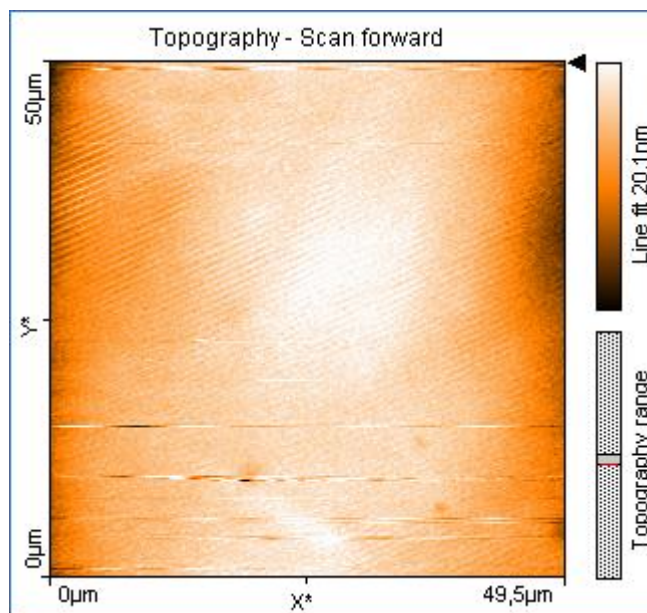


Figura 26. Topografía de la capa de MEH-PPV tomada con el AFM NanoSurf, para los parámetros de la tabla 12.

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CAPA DIELECTRICA CON PVA Y PMMA.

Debido a que las moléculas de estos polímeros son de mayor tamaño que las de la capa activa se hicieron unas mediciones extras debido a que la variación del espesor era demasiado, y se muestran a continuación.

Rpm	Aceleración	Espesor	Error \pm
1000	50	136.85 nm	2.1
2000	50	108.7 nm	9.6
3000	50	107.5 nm	3.5
4000	50	97.5 nm	17.5
1000	100	100.43 nm	14.3
2000	100	80.5 nm	6.4
3000	100	64.68 nm	0.3
4000	100	59.53 nm	1.6

Tabla 13. Resultados de Caracterización para la solución de PVA:AGUA de la tabla 7.

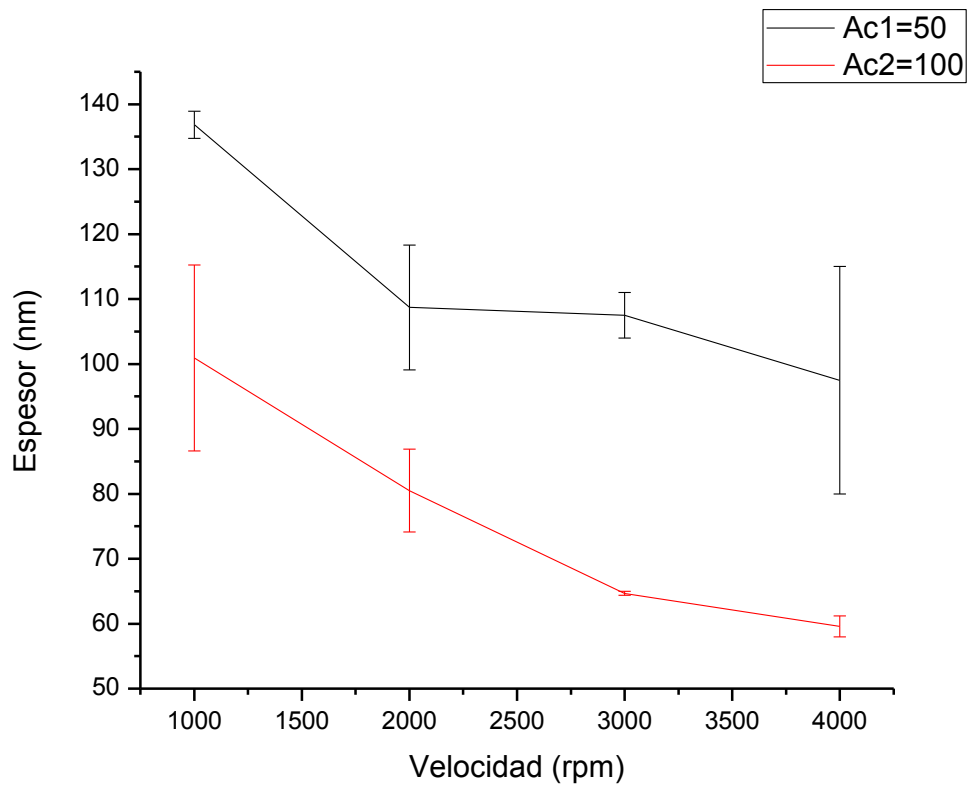


Figura 27. Gráfica de resultados de la tabla 13.

Rpm	Aceleración	Espesor	Error \pm
1000	50	481.8 nm	43
2000	50	384.43 nm	43.5
3000	50	362.06 nm	34.4
4000	50	328.13	14.2
1000	50	307.0 nm	9.5
2000	50	195.0 nm	7.1
3000	50	196.66 nm	39.7
4000	50	181.5 nm	37.5

Tabla 14. Resultados de Caracterización para la solución de PVA; AGUA: ALCOHOL-ISOPROPÍLICO (1:1), y PVA; AGUA: ALCOHOL-ISOPROPÍLICO (3:1).

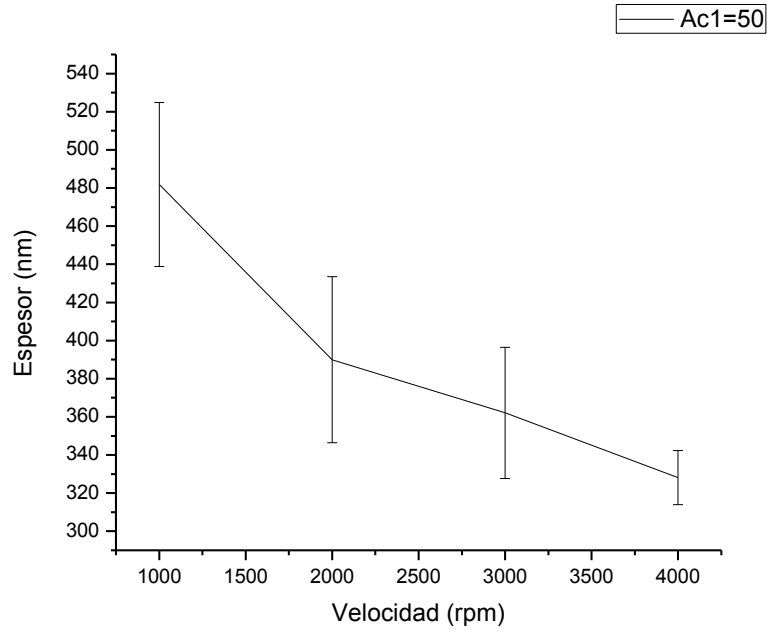


Figura 28. Gráfica de resultados de la tabla 14 (.PVA; AGUA: ALCOHOL- ISOPROPÍLICO (1:1)).

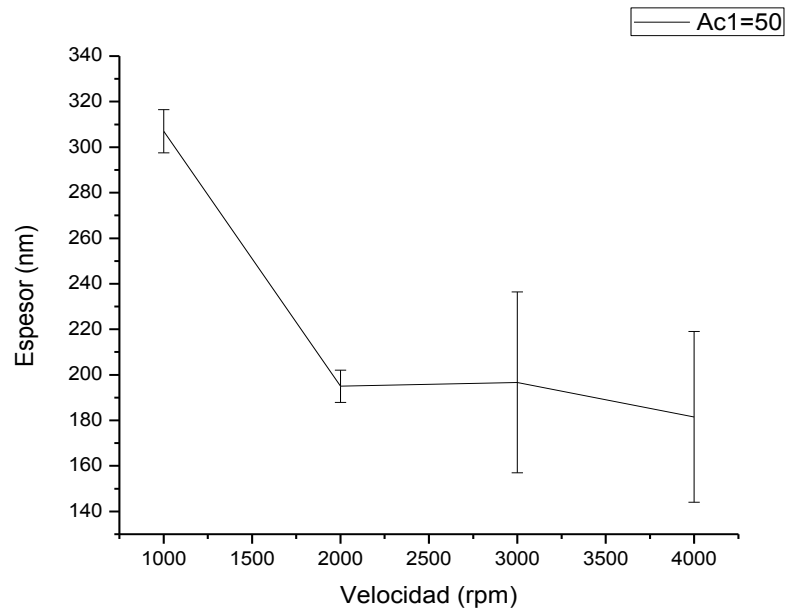


Figura 29. Gráfica de resultados de la tabla 14 (.PVA; AGUA: ALCOHOL- ISOPROPÍLICO (3:1)).

Rpm	Aceleración	Espesor	Error \pm
1000	500	179.7 nm	46.1
2000	500	126.27 nm	4.5
3000	500	119.1 nm	2.7
4000	500	103.4 nm	7.1

Tabla 15. Resultados de Caracterización para la solución de PMMA; ANISOL.

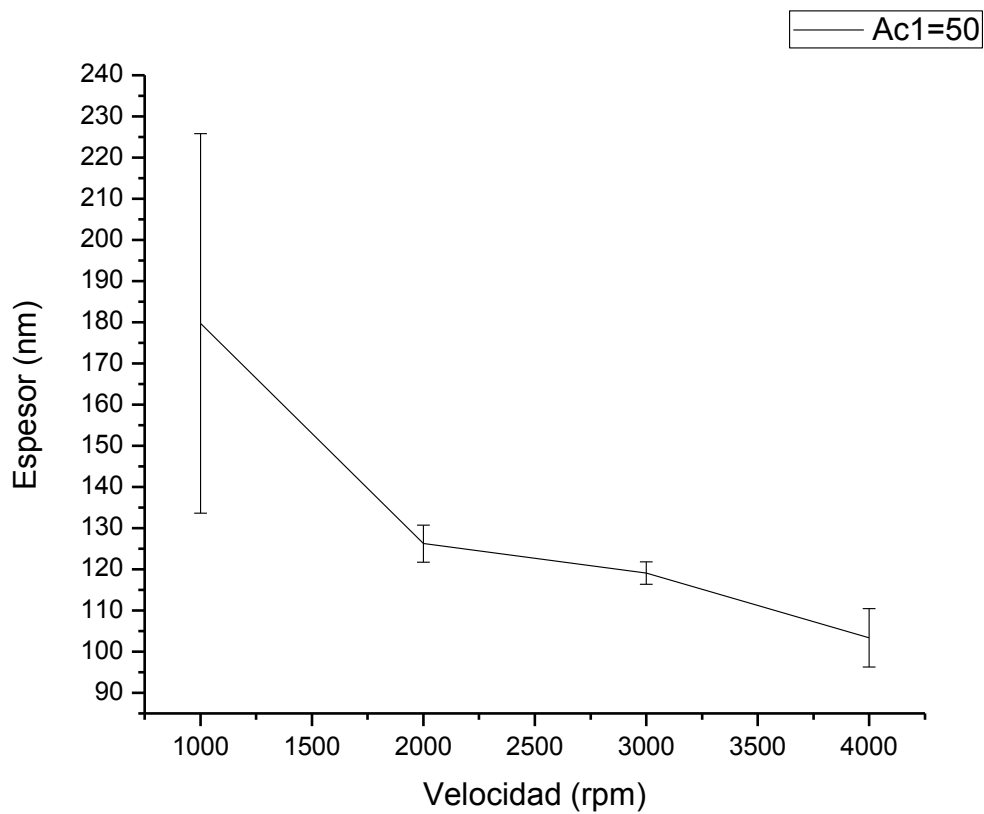


Figura 30. Gráfica de resultados de la tabla 15.

RESULTADOS DE FABRICACIÓN DE OFETS.

Las pruebas realizadas utilizando la metodología planteada anteriormente y los parámetros escogidos para cada una de las capas para la fabricación de OFETs, se muestran en las siguientes tablas.

# de Prueba	Capa Activa	Concentración	Rpm	Aceleración	Espesor
1	MEH-PPV	17.5 mg/ml	2000	200	80 nm
2	MEH-PPV	17.5 mg/ml	2000	200	80 nm
3	MEH-PPV	17.5 mg/ml	2000	200	80 nm
4	MEH-PPV	40 mg/ml	2000	100	100 nm
5	MEH-PPV	40 mg/ml	2000	100	100 nm
	MEH-PPV	40 mg/ml	2000	100	100 nm

Tabla 16. Parámetros usados para la capa activa en la fabricación de OFETs.

# de Prueba	Capa Dieléctrica	Concentración	Rpm	Aceleración	Espesor
1	PVA; AGUA: ALCOHOL-ISOPROPÍLICO (3:1)	40 mg/ml	4000	50	181.5 nm
2	PMMA; ANISOL	40 mg/ml	4000	500	103.4 nm
3	PVA; AGUA: ALCOHOL-ISOPROPÍLICO (1:1)	40 mg/ml	4000	50	328.13 nm
4	PVA; AGUA: ALCOHOL-ISOPROPÍLICO (3:1)	40 mg/ml	1000	50	307.0 nm
5	PMMA; ANISOL	40 mg/ml	1000	500	179.7 nm
6	PVA; AGUA: ALCOHOL-ISOPROPÍLICO (1:1)	40 mg/ml	1000	50	481.8 nm

Tabla 17. Parámetros usados para la capa dieléctrica en la fabricación de OFETs.

Para el depósito de la capa Buffer (PEDOT: PSS) se utilizaron parámetros aleatorios ya que no se contaba con una referencia precisa tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Capa Buffer	Concentración	Rpm	Aceleración	Espesor
PEDOT:PSS	1 mg/ml	2000	200	230 nm

Tabla 18. Parámetros utilizados para la capa buffer del OFET.

Los parámetros utilizados en la tabla 18 se aplicaron para las seis pruebas de construcción del OFET.

Las gráficas de resultados de las mediciones de la caracterización de las pruebas se muestran en las siguientes figuras

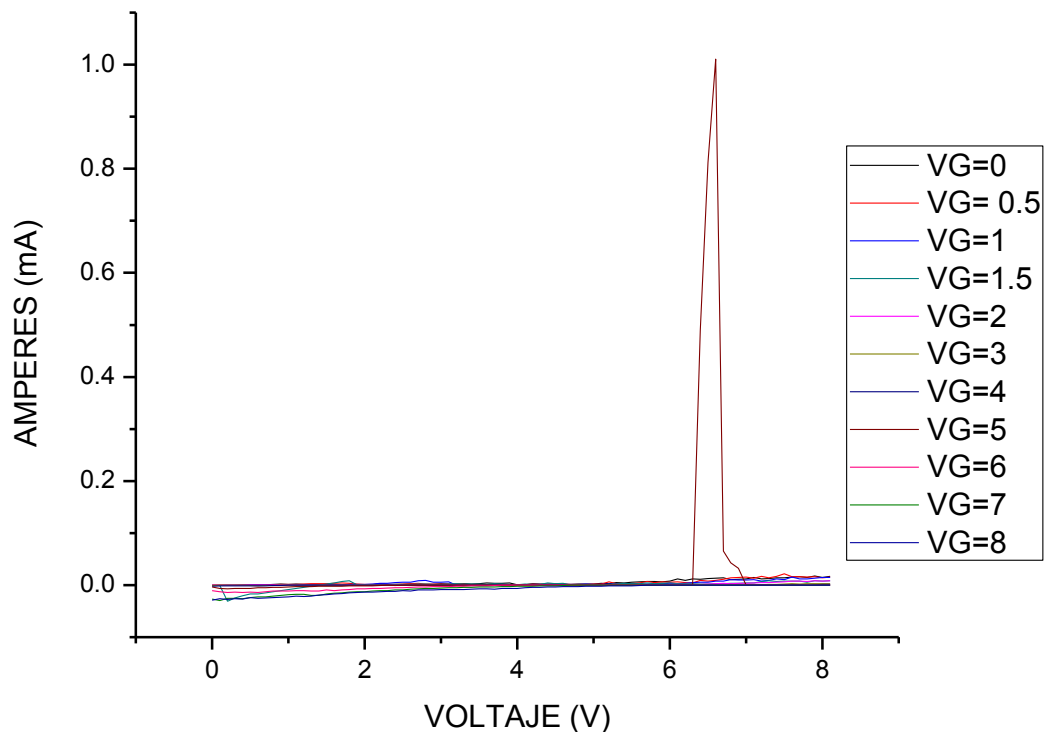


Figura 31. Resultado de la medición de caracterización de la prueba 1 del OFET.

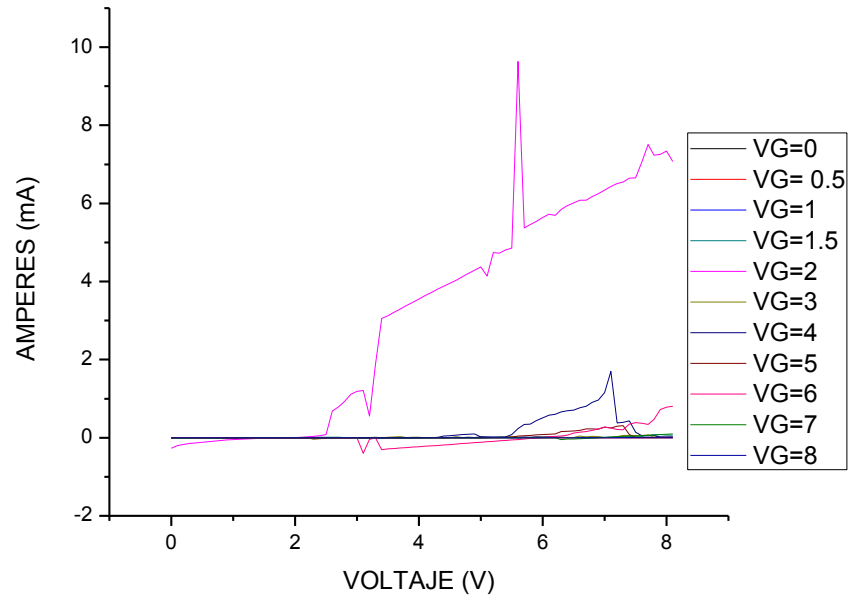


Figura 32. Resultado de la medición de caracterización de la prueba 2 del OFET.

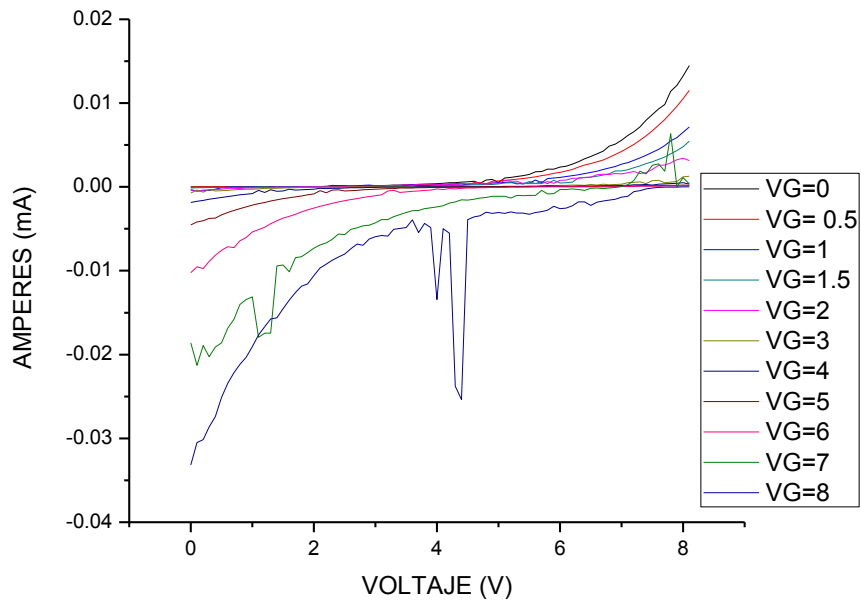


Figura 33. Resultado de la medición de caracterización de la prueba 3 del OFET.

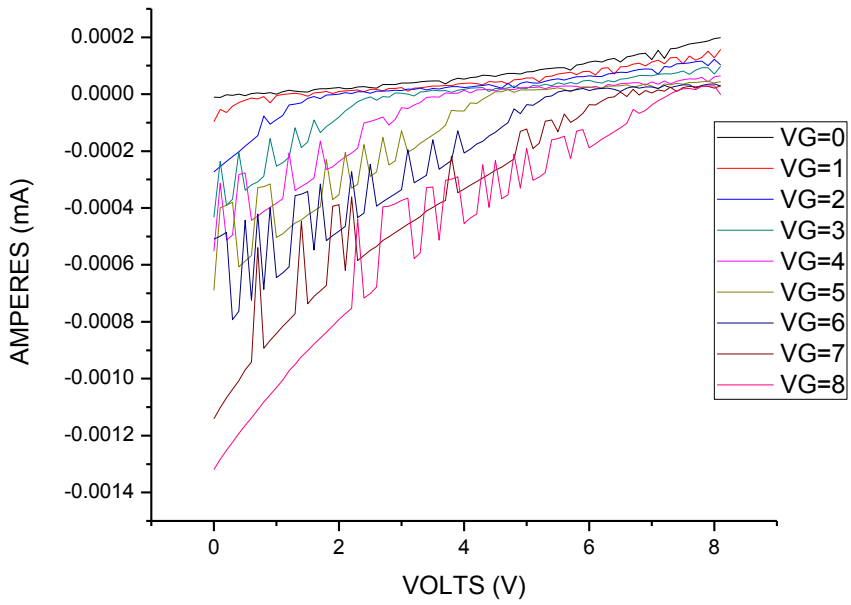


Figura 34. Resultado de la medición de caracterización de la prueba 4 del OFET.

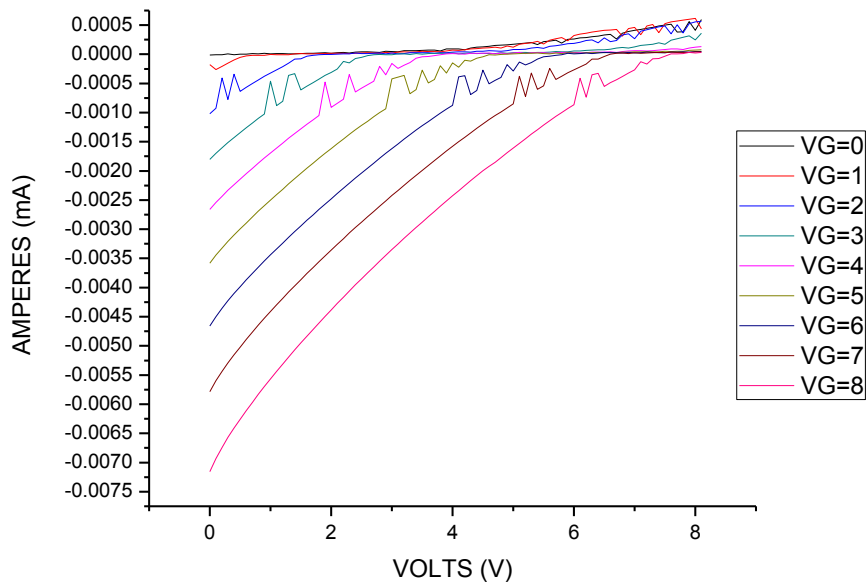


Figura 35. Resultado de la medición de caracterización de la prueba 5 del OFET.

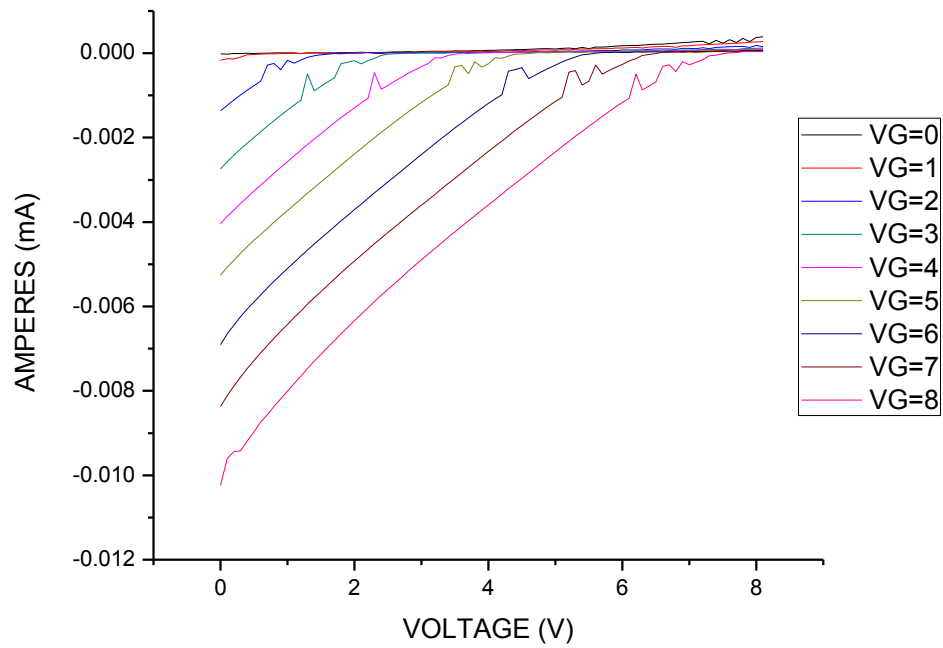


Figura 36. Resultado de la medición de caracterización de la prueba 6 del OFET.

De las figuras anteriores se observa que conforme el espesor tanto de la capa activa y del dieléctrico incrementa el funcionamiento básico del OFET se ve significativamente afectado lo que es cercano a lo que la literatura dice sobre la importancia en que debe existir una buena relación capa activa-capa dieléctrica para que el OFET funcione como tal.

5.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Resulta una mejor alternativa el diseño de la máscara para los electrodos Source y Drain por el método de litografía con Magic Tape, ya que presenta una mayor resistencia ante la exposición de la solución para remover el ITO del sustrato, a diferencia de la fotolitografía que muestra claramente que aún se requiere mayor experimentación para encontrar los parámetros correctos
- Una buena relación de espesor entre la capa activa y la capa dieléctrica proveen al OFET mejores características de funcionamiento
- El fields metal es un buen metal para utilizarse como el electrodo del Gate del OFET, sin embargo se observó que no hace un contacto completo con la capa dieléctrica y de buffer por lo que se generan pequeños falsos contactos que afectan las mediciones de caracterización
- El PEDOT:PSS resulto ser un buen polímero para hacer la capa buffer, aunque no se consiguió que el funcionamiento fuera completo, ya que aún se presenta un fenómeno conocido como Inducción de carga o corriente, del Gate hacia el Drain, lo que solo permite que se cree la región óhmica del OFET, pero no la región de saturación, dando como resultado un funcionamiento parcial del dispositivo.
- La utilización del PMMA para la capa dieléctrica resulto ser un buen cambio en el polímero que se utiliza, ya que permite un funcionamiento aceptable sin la necesidad de que esta capa requiera ser 2 o 3 más gruesa que la capa activa permitiendo que el dispositivo sea incluso de menor tamaño.

COMPETENCIAS APLICADAS Y/O DESARROLLADAS

- Conocimiento y experiencia en el uso de materiales y equipos especializados de laboratorio.
- Conocimiento, aprendizaje y visualización en el uso de equipos de medición a través de interfaces hechos en programación como LabView®.
- Conocimiento y aprendizaje sobre la síntesis de compuestos químicos poliméricos y su aplicación.
- Conocimiento y aplicación de Electrónica orgánica.
- Conocimiento y aprendizaje sobre métodos de fabricación de dispositivos electrónicos orgánicos.
- Experiencia y aprendizaje sobre trabajo en equipo multidisciplinario.

REFERENCIAS

- HERNÁNDEZ B, Efrén. Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa. Revista Mexicana. 2007.
- Takahashi, K., et al. Chem. Lett. 33, 1042, (2004).
- Silvia Álvarez Blanco y José Luis Zaragoza Carbonell Ciencia de los polímeros-Fred Wallace Billmeyer N° de patente. 147,958, 20 de febrero de 1941.
- Tsumura, K. Koezuka, T. Ando, Appl. Phys. Lett. 1986,49, 1210–1212.
- G. Horowitz, D. Fichou, X. Z. Peng, Z. G. Xu, F. Garnier, Solid State Commun. 1989, 72, 381–384.
- I. Kymissis, C.D. Dimitrakopoulos, S. Purushothaman, IEEE Trans. Electron Devices 2001, 48, 1060.
- J. Veres, S. Ogier, G. Lloyd, Chem. Mater. 2004, 16,
- M.-H. Yoon, C. Kim, A. Facchetti, T. Marks, J. Am. Chem. Soc. 2006, 128
- M. M. Ling, Z. Bao, Chem. Mater. 2004, 16, 4824–4840.
- Eliassaf, J.(1972) Detection of small quantity of Poly(vinyl alcohol) in poly(vinyl chloride) resins. Polym. Lett., 16, 225-235.
- Taniguchi, J. & Ohkita, K. (1977) Testing paper for measuring poly(vinyl alcohol) concentration. Japanese Patent 7765,495, 30 May, to Shikishima Spinning Co., Ltd.
- Li-Hong ZHAO, OE @ NUS Science, ONDL, 2010
- Bao, Zhenan, “Materials and Fabrication Needs for Low-Cost Organic Transistor Circuits,” Adv. Mater. 2000, 12, No. 3.
- Pierret, Robert F. “Semiconductor Device Fundamentals.” Reading, Massachusetts: Addison Wesley Longman, 1996, pp. 525-732.

- J. H. Burroughes, C. A. Jones, and R. H. Friend, "Polymer Diodes and Transistors: New Semiconductor Device Physics," *Nature*, vol. 335, pp. 137-141, 1988.
- S. R. Forrest, "Active optoelectronics using thin-film organic semiconductors," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, vol. 6, pp. 1072-1083, 2000.
- F. Garnier, R. Hajlaoui, A. Yassar, and P. Srivastava, "ALL-POLYMER FIELD-EFFECT TRANSISTOR REALIZED BY PRINTING TECHNIQUES," *Science*, vol. 265, pp. 1684-1686, 1994.
- *Organic Semiconductors in Sensor Applications*, edited by D. A. Bernards, R. M. Owens, and G. G. Malliaras (Springer, Berlin, Heidelberg, 2008).
- C. Dimitrakopoulos and P. R. L. Malenfant, "Organic thin film transistors for large area electronics," *Adv. Mater.*, vol. 14, pp. 99–117, Jan. 2002.
- *Organic Electronics, Materials, Manufacturing and Applications*; Klauk, H. ed.; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2006.
- G. Horowitz, "Organic thin film transistors: From theory to real devices", *Journal of Materials Research*, vol.19, issue 7, (2004),