

Electrónica orgánica

Elaborado Por: Luis Guillermo Durango Mercado

5.5 Láser Orgánico

Muchos polímeros conjugados son capaces de emitir luz. Esto puede ser generado por fotoluminiscencia o electroluminiscencia, mediante la aplicación de un voltaje. La vigorosa actividad relacionada con el desarrollo de polímeros emisores de luz en todo el mundo ha conllevado a avances extraordinarios en los materiales en la década pasada, facilitando el desarrollo de otras aplicaciones como transistores, celdas solares y láseres.

“Hay muchas razones por las cuales los materiales orgánicos semiconductores son atractivos como materiales para láseres. Entre ellas están que: existe una gran variedad de polímeros que pueden emitir luz en el espectro visible, los polímeros tienen amplios espectros (posibilitando la fabricación de láseres sintonizables), los polímeros tienen fuertes coeficientes de absorción, lo cual implica que tienen el potencial para grandes amplificaciones de la luz, el espectro de absorción y de fluorescencia están bien separados, por lo tanto la absorción de la luz emitida es débil y además los polímeros semiconductores combinan las ventajas específicas para láseres, con las ventajas generales de los polímeros, como son la variación de las características de emisión de luz mediante cambios en la estructura del polímero, fabricación simple y barata y la flexibilidad”¹.

5.5.1 Estructura del láser

Según Riechel Stefan², la caracterís-

tica principal de un láser es que está constituido por un material que amplifica la luz (conocido como el medio de ganancia) y un resonador que aplica la realimentación. Cuando la luz pasa por el amplificador de luz, éste estimula la emisión de más radiación, ganando en intensidad. El resonador refleja la luz adelante y atrás del medio de ganancia para aumentar la intensidad del campo de luz. Un punto muy importante es que la luz estimulada adicionalmente, tiene la misma longitud de onda, dirección y fase como la luz que está pasando por el medio de ganancia, lo cual conduce a la coherencia distintiva de la luz láser.

“Para que el láser funcione se le debe suministrar energía, y hay dos formas de hacer esto. La primera conocida como bombardeo óptico, que consiste en la excitación del medio de ganancia con una fuente de luz muy potente. Esto se logra mediante otro láser o una lámpara de flash. La otra posibilidad, es el bombardeo eléctrico, que involucra la excitación del medio de ganancia eléctricamente mediante el paso de corriente a través de éste. En todos los láseres hay un mínimo de energía que se debe suministrar, conocido como el umbral, el cual se debe suministrar si se quiere que el láser funcione. El bombardeo eléctrico es muy conveniente y es el usado en los láseres de semiconductor inorgánicos, como los usados en reproductores de CD”³. Hasta ahora todos los

láseres de polímeros han sido ópticamente bombardeados por otros láseres. La configuración más común de un láser, se caracteriza por tener un medio de ganancia en medio de un resonador consistente de dos (o más) espejos. La luz pasa repetidamente a través del medio de ganancia rebobando en los espejos. Uno de los espejos refleja la mayoría de la luz, pero deja pasar una pequeña porción, que es el rayo láser. “El primer láser de semiconductor polimérico fue reportado por Mosess en 1992. Este usaba un medio de ganancia hecho de una solución diluida de poly (2-methoxy-5-(2'-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinilene), MEH-PPV. El uso del polímero en solución fue un buen punto de partida, debido a que su eficiencia fluorescente es mayor que en estado sólido, y la estructura de un simple resonador puede ser usado”⁴.

Un láser de polímero en estado sólido, sería atractivo debido a que éste puede ser más compacto y robusto, y sería más adecuado para bombardeo eléctrico. Sin embargo, este tipo de láser en estado sólido presenta más desafíos por resolver.

Según Graham⁵, en el mismo año en que Moses reportó un láser de solución, también se estaba investigando un láser de estado sólido de película delgada de material polimérico. Este no presentó ganancia, sólo absorción foto-inducida, lo cual mostró que un láser orgánico de estado sólido no se podía fabricar con los materiales desarrollados en esos años. Afortunadamente debido al desarrollo de materiales, liderado por el desarrollo de los OLEDs, se han podido desarrollar

¹ GRAHAM, A, D.W, Samuel, Polymer Lasers: recent advances [en línea]. s.l.: Universidad de St. Andrews, 2004. <www.materialstoday.com/pdfs_7_9/Samuel.pdf> p.2 [consulta: enero de 2005].

² RIECHEL, Stefan. Organic Semiconductor lasers with two-dimensional distributed Feedback. [en línea]. Munich: Universidad de Munich. 2002. p.15 [consulta: feb de 2005].

³ Ibid, p. 4

⁴ Ibid, p. 5

⁵ Ibid, p. 7

Primera empresa argentina fabricante
de conmutadores rotativos con
homologaciones en IEC 947-3

vefben

ELECTRICIDAD INDUSTRIAL



Dispositivo FS

Nuevo accesorio aplicable en las líneas XV (8A) y 0/200 (16A), el cual permite fijar en un tablero mediante un cabezal selector de $\varnothing 22,5$ mm un aparato de maniobra, ahorrando tiempo en la instalación dándole otro aspecto y terminación al mismo, y por otro lado es una alternativa más económica para la operación de diversos elementos gracias a la corriente nominal que puede operar. La variedad de modelos es amplia como para darle al profesional una alternativa viable para su proyecto.

Dispositivo AC

Sistema de acople de llaves a levas, que permite disminuir la profundidad del producto cuando la complejidad del proyecto no admite reducir las dimensiones. De construcción robusta, su accionamiento resulta tan suave como accionar una única llave.

Cantidad máxima de posiciones: 3



Seccionadores especiales

Posibilidad de combinación apta para seccionar en mayores amperajes.

BENVENUTI HNOS. S.A.

Rodriguez Peña 343 - B1704DVG - Ramos Mejia - Prov. de Buenos Aires - Republica Argentina
Tel.: Fax: (54-11) 4658-9710 / 5001 // 4656-8210 - [Http://www.vefben.com](http://www.vefben.com) // vefben@vefben.com

láseres orgánicos sólidos que muestren ganancia y estimulación láser. Un ejemplo de estos láseres es el trabajo de Tessler, quien estudio películas delgadas de PPV en medio de dos espejos. Cuando se estimuló con un láser muy intenso, el fenómeno láser se observó y se produjo un rayo de luz con longitud de onda de 545nm. Una característica interesante de este resultado, fue que esto se logró en un medio de ganancia de tan sólo 100 nm de grosor. En contraste, el medio de ganancia en la mayoría de los láseres es de centímetros. El hecho de que puedan ser utilizados, medios de ganancia de muy bajo grosor, muestra que con los semiconductores orgánicos se pueden lograr ganancias extraordinariamente altas.

“Las características de flexibilidad de los polímeros permiten una gran variedad de formas simples en la fabricación de los resonadores. Por ejemplo, mediante la introducción de una fibra óptica dentro de la solución de polímero se pueden formar un anillo (ver figura 58), en el cual la luz puede viajar alrededor y alrededor de esta estructura, siendo amplificada y produciendo el fenómeno láser. Una ventaja de esta estructura es que el medio de ganancia es largo y las pérdidas son muy bajas, haciendo fácil alcanzar el umbral y lograr la luz láser. Sin embargo la luz emitida en todas direcciones desde la estructura y la salida del rayo no definida, es una desventaja”⁶.

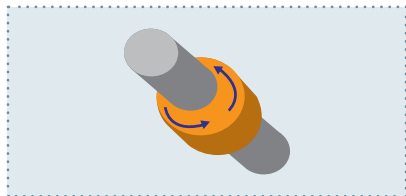


Figura 59. Resonador en forma de anillo.

Fuente: GRAHAM, A, D.W, Samuel, *Polymer Lasers: recent advances* [en línea]. s.l.: Universidad de St. Andrews, 2004. <www.materialstoday.com/pdfs_7_9/Samuel.pdf> [consulta: enero de 2005].

En vez de utilizar espejos, la realimentación puede llevarse a cabo según Graham⁷, haciendo una estructura periódica adecuada en una película de polímero. El ejemplo más simple es una estructura en forma de lámina corrugada (ver figura 59), pero en una escala más fina, con espaciamentos entre picos de 400 nm. Esta longitud es similar a la longitud de onda de la luz, por lo tanto la estructura actúa como una red de difracción. La luz viajando en una dirección en la película será difractada en una nueva dirección. Si el período de la corrugación es escogido cuidadosamente, entonces se puede arreglar éste de tal forma que la luz sea difractada 180°. El efecto es similar al de ser reflejada por un espejo. Una película de semiconductor polimérico corrugado, puede de esta forma ser usada para fabricar un láser en donde el polímero es el medio de ganancia y la corrugación provee la realimentación. Láseres de este tipo son conocidos como láseres de realimentación distribuida (DFB). La geometría de los DFB, es muy atractiva para láseres de semiconductor polimérico por muchas razones. Las películas de polímero pueden ser hechas mediante spin coating y la estructura del láser permite que la luz se propague a distancias significativas en el medio de ganancia. De este modo produciendo umbrales de operación bajos. Como la realimentación es provista por la corrugación, en vez que por espejos, no se requiere la alineación del láser, y la corrugación puede ser usada además, para dar una bien definida salida del rayo, mediante la difracción de algún porcentaje de la luz fuera de la cara de la película.

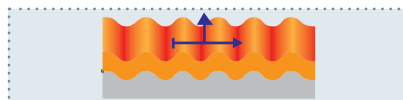


Figura 60. Estructura corrugada de un DFB.

Fuente: GRAHAM, A, D.W, Samuel, *Polymer Lasers: recent advances* [en línea]. s.l.: Universidad de St. Andrews, 2004. <www.materialstoday.com/pdfs_7_9/Samuel.pdf> [consulta: enero de 2005].

5.5.2 Conclusiones

El desarrollo de los láseres poliméricos es más reciente que la de los OLEDs, pero se han logrado enormes progresos para entender y mejorar el diseño óptico, reduciendo el umbral de funcionamiento, y explotando las propiedades de los polímeros para permitir una manufactura más sencilla. El mayor desafío en la actualidad, es que todos los láseres poliméricos son de bombardeo óptico. Sin embargo, los láseres eléctricamente bombardeados son muy útiles y pueden encontrar un sinnúmero de aplicaciones como fuente variable de bajo costo en espectroscopia.

Los láseres poliméricos eléctricamente bombardeados requerirán de considerables progresos adicionales, pero en el mediano plazo, los láseres eléctricamente bombardeados indirectamente son una promisoriosa alternativa para láseres poliméricos de bajo consumo, alimentados con baterías.

AVANCES RECIENTES

1991. Primer display funcional de (3 x 5 pixeles) desarrollado por CDT.

1992. Alan J Heeger y sus colaboradores hacen el primer display flexible.

1993. CDT, reemplazo los contactos de Al por contactos de Ca, para solucionar el problemas de la inyección de electrones en polímeros conjugados.

1994. Investigadores de Covion desarrollaron SMOLEDs estables a altas temperaturas.

1995. Uso de polímeros para dispositivos fotovoltaicos por parte del Laboratorio Cavencish de la Universidad de Cambridge.

1997. Primer producto electrónico orgánico comercial. Fue un display de color verde de un radio de carro, basado en monómeros y fabricado por Pioneer y comercializado en Japón.

1999. Se reportan TFT poliméricos de

¹ Ibid, p.8

² Ibid, p.3

alto rendimiento.

2000. CDT y Seiko-Epson fabrican el primer PLED display de matriz activa a todo color mediante la técnica de inyección de tinta. Este mide 2.5 pulgadas y tiene 2mm de grosor.

2000. Físicos de Lucent Technologies desarrollaron el primer LÁSER de semiconductor orgánico manejable. Construido con tetraceno cristalino, una molécula que está formada por cuatro moléculas de benceno. El dispositivo emite luz con una longitud de onda de 575.7 nm.

2001. CDT y Seiko-Epson fabrican el primer display de 2.8 pulgadas y 100 ppi de resolución.

2002. Primer PLED comercial, producido por Philips con una resolución de 16 x 64. Fue lanzado en una rasuradora y presentado por primera vez en la pelí-

cula de James Bond "Die another day.

2003. CDT anuncia mejoras significativas en el tiempo de vida de los PLED en más de 20,000 horas de operación para sus polímeros azules, lo cual representa una mejora significativa pensando en la explotación comercial de aplicaciones a todo color.

2003. Dupont y Evolution Technologies lanzan al mercado un reproductor de MP3 con un PLED display de 2.1 pulgadas y 128 x 64 de resolución.

2003. CDT anuncia la primera línea de manufactura para PLED displays, usando la tecnología de la impresión de tinta de precisión. (ink jet)

2003. Sumitomo Chemical y CDT se unen para crear materiales altamente eficientes, utilizando la tecnología de los Dendrimeros, lo cual representa especial importancia para el desarro-

llo de dispositivos que requieran bajo consumo de potencia.

2004. Philips incorpora PLEDs en el celular "Magic Mirror".

2004. Philips, en unión con E Ink Corporation y Sony Electronics, anuncian la primera aplicación comercial de un módulo de papel electrónico: Sony e-Book reader LIBRIé, el cual puede ser leído a la luz del sol, además en lugares con poca luz. Adicionalmente permite la lectura de más de 10000 páginas antes de ser necesario reemplazar la pila.

2004. Philips demuestra el primer prototipo de televisor basado en LED poliméricos, el cual muestra gran calidad de color, es ultra delgado y consume muy poca energía.

2004. Se logran materiales que pueden doparse como tipo n o como tipo p.



MEJORANDO LA CALIDAD DE SIEMPRE, SUMANDO CALIDEZ A NUESTROS SERVICIOS

- Atención Personalizada
- Amplio y Variado Stock
- Precio y Calidad
- Entrega dentro de las 24 Hs., sin cargo en Cap. Fed. y Gran Bs. As.
- Vehículos Propios
- Solicite Vendedor y Lista de Precios

AUSPICIAN



Camargo 3580 (1688) Villa Tesei
Bs.As. - Línea Gratuita: 0800-999-0072
011 4450-1595 / 8757

www.delind.com.ar
ventas@delind.com.ar

2004. Sony Corporation, anuncia, la producción masiva de pantallas OLED, para su producto CLIE PEG-VZ 90.

2005. Samsung electronics, anuncia el desarrollo del primer televisor de 40 pulgadas, basado en OLED.

CONCLUSIONES

- La electrónica orgánica como se ha visto en este trabajo es una rama de la electrónica, la cual basa su funcionamiento y arquitectura en los compuestos orgánicos o basados en el átomo de carbono. Esta por estar basada en el átomo de carbono presenta un sinnúmero de materias primas a diferencia de la electrónica inorgánica, la cual sólo tiene como alternativa de materia prima el silicio, el germanio, arseniuro de galio y unos pocos elementos más.
- Los compuestos orgánicos semiconductores se presentan como cristales ordenados y como polímeros (amorfos), en ambos su principal característica es la de tener una configuración de enlaces conjugada, la cual es la base para el transporte electrónico.
- Los cristales orgánicos al ser del tipo molecular, intermolecularmente están enlazados por fuerzas muy débiles como las de Van der Waals y London, lo cual conduce a una ausencia de bandas de conducción estables, por lo tanto, la conducción en los cristales orgánicos mayoritariamente es debida al transporte electrónico por efecto túnel o Hopping (saltos cuánticos).
- En los polímeros orgánicos, los monómeros están enlazados mediante enlaces covalentes conjugados, lo cual les permite la formación de bandas de conducción semejantes a las de los semiconductores inorgánicos, sin embargo, los polímeros orgánicos presentan irregularidades, como torceduras de las cadenas moleculares, etc., que interrumpen la conducción por bandas de energía. Por lo tanto en los polímeros orgánicos la conducción se da por bandas de energía dentro de las cadenas individuales o

dentro de los segmentos de cadenas poliméricas que no presentan irregularidades, pero entre las cadenas o entre las interrupciones, la conducción, se da como en el caso de los cristales orgánicos, es decir por saltos cuánticos o hopping.

- De lo anterior podemos concluir que el proceso de transporte de energía en los materiales orgánicos es en su inmensa mayoría por efecto túnel o hopping.
- En los semiconductores orgánicos la transferencia de energía se da mediante especies electrónicas como polarones, solitones, bipolarones y excitones, los cuales se denominan cuasi partículas, las cuales en el campo inorgánico no tienen mucha trascendencia.
- Los cristales semiconductores presentan movilidades mayores a los polímeros, pero son poco solubles en solventes orgánicos, lo cual imposibilita su utilización para dispositivos de gran área que necesitan que los semiconductores sean depositados en películas delgadas uniformes. Por lo tanto estos cristales son utilizados y depositados mediante las mismas técnicas utilizadas por la electrónica tradicional (inorgánica).
- Los polímeros semiconductores son mediante algunas técnicas, solubles en solvente orgánicos y conservan sus características semiconductoras, lo cual permite que estos materiales sean depositados mediante técnicas de inyección de tinta en grandes áreas, en la fabricación de dispositivos que aprovechan las características mecánicas de flexibilidad propias de los polímeros.
- Los semiconductores orgánicos poliméricos por sus características de ser solubles en solventes orgánicos y depositados en grandes áreas permite la fabricación de dispositivos de gran área como pantallas, papel electrónico, etc.
- Los semiconductores orgánicos por necesitar de procesamientos menos cuidadosos y caros que su contraparte

te inorgánica y por poder ser depositados por técnicas menos complejas permiten la fabricación de dispositivos electrónicos a más bajo costo y plantas de ensamblaje menos complejas y costosas.

- En la actualidad los compuestos orgánicos alcanzan movilidades electrónicas que están en todo el rango de conducción desde los aisladores, pasando por los semiconductores hasta aquella propia de los conductores como el cobre.
- La velocidad de suicheo de los dispositivos orgánicos actuales esta muy por debajo de las de los dispositivos inorgánicos, pero se espera que en pocos años estas velocidades se puedan alcanzar.
- En la actualidad y en el mediano plazo la electrónica orgánica no reemplazará a la electrónica tradicional, debido a menores velocidades de suicheo, tiempos de vida de los materiales, etc., pero es utilizada en nuevas áreas tecnológicas, donde la electrónica tradicional no es viable, como dispositivos de gran área, dispositivos flexibles, dispositivos electroluminiscentes de bajo consumo de energía, músculos artificiales, nervios artificiales, entre otras, con lo cual se apodera de una franja considerable del mercado electrónico. Aunque a largo plazo no se espera que la electrónica orgánica reemplace la inorgánica, se espera que con la mejora en las velocidades de suicheo, la mejora de los tiempos de vida de los materiales orgánicos, entre otras, esta nueva rama de la electrónica se apodere de gran parte del mercado electrónico. ■

BIBLIOGRAFÍA

- AMRUTRAO PATIL, Satish. Ladder Polymer for Photonic Applications. [en línea], s.l. Universidad de Bergischen, febrero de 2004. p. 13 [consulta: 15 de octubre de 2004].
- AGUILERA, Juan. Luminiscencia en materia condensada. [en línea]. s.l.: s.n. 2001. < www.fis.puc.cl/spm/pu-

- blic/fiz3600/2001.mp-JuanAguilera.pdf> [consulta: Noviembre de 2004]
- BRUICE, Paula Yurkanis. Organic Chemistry. Second edition. New York: Prentice hall. 1998.
- Contents. [en línea]. s.l.: s.n. s.f. <http://www.shef.ac.uk/physics/teching/phy411c/phy411.pdf> [consulta: Febrero de 2005]
- CORCORAN, Elizabeth. Nanotécnica. Investigación y ciencia. Ed. prensa científica S.A. No. 172. Barcelona. 1991. p.80
- DIMITRAKOPOULOS, MASCARO. Organic electronic.[en línea]. IBM Journal Research and development, Vol 45, #1, s.l.: IBM, 2001. < http://www.Philips.com> [consulta: Marzo de 2004]
- Editorial Time Life. Universo, Estrellas I. Editorial Folio S.A. Barcelona. 1994. p.48
- El Maravilloso cibermundo de los polímeros. Macrogallería. [en línea]. Dep. de ciencias de polímeros s.l.: Universidad del sur de Mississippi. 1995. <http://pslc.ws/spanish> [consulta: Noviembre de 2004]
- FERNANDEZ, Toribio Otero. Polímeros conductores: síntesis, propiedades y aplicaciones electroquímicas. Revista Iberoamericana de polímeros. Vol. 4. [en línea]. Cartagena España. Revista Iberoamericana de polímeros Dic 2003. <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/dic03/toribio1.pdf> [consulta: Enero de 2005]
- GARCIA, Arcesio , AUBAD, Aquilino, ZAPATA, Rubén . Hacia la química 2. Primera edición. Bogotá. Editorial Temis. 1995.
- GRAHAM, A, D.W, Samuel, Polymer Lasers:recent advances [en línea]. s.l.: Universidad de St. Andrews, 2004.<www.materialstoday.com/pdfs_7_9/Samuel.pdf> [consulta: enero de 2005].
- HOYLE, Fred. Astronomía. Ediciones Destino, Barcelona (España), 1962. pag 239.
- HUNTER, Ian W, MADDEN, Meter G.A, MADDEN, John D.W. Polypyrrole Capacitors. [en línea]. s.l.:MIT, 1999. <darbelofflab.mit.edu/ProgressReports/HomeAutomation/Report2-4/CondPoly%2099.pdf>, [consulta: Octubre de 2004].
- JAGLARZ, Janusz. Polymeric Photovoltaic Devices. [en línea]. Cracovia (Polonia): Universidad de Cracovia. 2004. <www.materialsscience.pwr.wroc.pl/ci/articles/ms_2004_055.pdf> [consulta: dic de 2004].
- KANER, Richard B, y MACDIARMID, Alan G. Plásticos que conducen la electricidad. Investigación y ciencia. Prensa Científica. 1988. p.64.
- LARSSON, Oscar. Empirical parameterization of organic electrochemical transistors. [en línea]. s.l.: Universidad de Linköpings. 2004. www.ep.liu.se/exjobb/itn/ed/2004 [consulta: Octubre de 2004]
- LU. Peter J. Plastic Lasers: Stimulated Emission from conjugated organic polymers. [en línea]. s.l.: Universidad de Princeton. 1998. <pupgg.princeton.edu/www/jh/peterlu_fall98.pdf>. [consulta: Diciembre 2004]
- MADHAVAN, Nandita. Small-Molecule organic semiconductors.[en línea]. s.l.: s.n. 2002. <www.scs.uiuc.edu/chemgradprogram/chem435/s02-Madhavan.pdf> [consulta: Febrero de 2004]
- MEIJER, Eduard Johannes. Charge Transport in Disordered Organic Field Effect Transistors. [en línea]. s.l.:Universidad técnica de Delft. 2003. <www.library.tudelft.nl/delftdiss/pdf/2003/as_meijer> [consulta: Octubre de 2004]
- Modern molecular Photochemistry. Capitulo 2, [en línea] s.l.:s.n.s.f.. p.9. < http://www.columbia.edu/cu/bulletin/uwb/ subj/ CHEM/G8348-19993-001.html>
- MYSYROWICS, Andre y WOLFE, James P. Materia excitónica. Investigación y Ciencia. No. 92 Ed. Prensa Científica. Barcelona (España). 1984. p.64.
- NASSAU, Kurt. Las Causas del Color. Investigación y ciencia. Prensa científica S.A. Barcelona (España). N. 51. Dic 1980. pag.56.
- NILSSON, David. An Organic Electrochemical transistor for Printed Sensors and Logic. [en línea]. s.l.: Universidad de Linköpings, Institute of technology. 2005. <http://www.ep.liu.se/dess/science_technology/09/21/digest.pdf>[consulta: Febrero de 2005]
- OLEDs the difference between PLEDs and SMOLEDs. [en línea]. s.l.: Calpoly. s.f. <www.calpoly.edu/drjones/chem447/polymers%20cd/files/led/pledsoleds.htm> [consulta: Septiembre de 2004]
- Organic Light emitting devices (OLED). [en línea]. s.l.: LAMP. s.f. <http://cedb.postech.ac.kr/lamp/eng/research_oled.php.> [consulta: Marzo de 2004]
- Organic semiconductors: the basics. [en línea]. s.l.: Orgoworld. S.f. <http://www.orgworld.de/> [consulta: Marzo de 2004]
- Organic semiconductors for advanced electronics. Sigma Aldrich. Vol 4, No 6. [en línea]. s.l.: Sigma Aldrich. www.sigmaaldrich.com/img/assets/4880/al_chemfile_v4_no6.pdf [consulta: Febrero de 2005]
- PLEDs. [en línea]. s.l.: Universal Display. S.f. <http://www.universaldisplay.com/high.htm> [consulta: Junio de 2004]
- SCHOEDER, Roul. Characterization of organic and inorganic optoelectronic semiconductor devices using advanced spectroscopic methods. [en línea]. s.l.: Virginia polytechnic Institute and state University. 2001. <scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-01072002-094801/unrestricted/Raoul_Schroeder_thesis.pdf > [consulta: Febrero de 2005]
- SKOOG, D.A. Leary; Análisis Instrumental, 4º ed. Ed.McGraw-Hill. (1994), p.210.
- ULINSKI, Daniel James. Organic diode and other circuit element creation through variations of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) synthesis. [en línea]. s.l.: Pittsburg University. 2002. http://etd.library.pitt.edu/ETD/available/etd-07072004-180027/ unrestricted/ DJU-linski-MSEE-Thesis-Pitt-July-2004.pdf [consulta: Febrero de 2005]
- VISSEMBERG, Michael Cornelis Josephus Marie. Opto-electronic properties of disordered organic semiconductors. [en línea]. s.l.: Leiden Universitet. 1999. <http://www.lorentz.leidenuniv.nl/bee-nakker/theses/vissenberg/vissenberg.html> [consulta: Abril de 2004].
- WEBSTER. Howard E. Pantallas de película Orgánica. Investigación y Ciencia. Ed. Prensa Científica, S.A. Madrid. 2004.
- WONG, Man Hoy. Charge transport and injection in doped organic semiconductors. [en línea]. s.l.: Cornell university. 2004. <my.ece.ucsb.edu/mhwong/documents/thesis.pdf> [consulta: Febrero de 2005]