

DESARROLLO DE DISPOSITIVOS ELECTROLUMINISCENTES POR R2R

Núria Guilera-Grandes¹, Laia Vilar-Abril², Irene Álvarez de Lasarte-Sagrera²

¹ Responsable, laboratorio de R+D. Correo electrónico: nguiera@cetemmsa.com

² Investigadora en el departamento de R+D

CETEMMSA, España

Recibido: 10 de septiembre del 2013. **Aprobado:** 5 de noviembre del 2013.

Cómo citar este artículo: N. Guilera-Grandes, L. Vilar-Abril y I. Álvarez de Lasarte-Sagrera, "Desarrollo de dispositivos electroluminiscentes por R2R". *Ingeniería Solidaria*, Vol. 9, No. 16, pp. 103-107, Dic., 2013.

Resumen. Los dispositivos electroluminiscentes (EL) son un ejemplo perfecto de iluminación en estado sólido. La fabricación de los dispositivos se ha llevado a cabo con una serigrafía plana *roll-to-roll* imprimiendo un total de 4 capas, donde cada capa se coloca una sobre la otra, fabricando 200 dispositivos al día. Los dispositivos EL se han sometido a condiciones ambientales extremas introduciendo los dispositivos en el interior de la cámara climática a 40 °C y 90% RH durante un máximo de 336h, aplicando una tensión de 150 V y 750 Hz. Se investigó la protección de los dispositivos electroluminiscentes frente a la humedad y la temperatura. Los films ensayados proporcionan menor protección que las tintas de silicona, ya que estas proporcionan mejores propiedades tanto de flexibilidad del sistema como de resistencia frente a la humedad y temperatura.

Palabras clave: electroluminiscente, encapsulación, inorgánico, *roll to roll*, tejido.

DEVELOPING ELECTROLUMINESCENT DEVICES USING R2R

Abstract. Electroluminescent (EL) devices are a perfect example of solid-state lighting. These devices have been produced using flat roll-to-roll screen printing in a total of four layers, one on top of another, making 200 devices a day. EL devices have been subjected to extreme conditions in environmental chambers at 40 °C and 90% relative humidity for up to 336 hours, applying a voltage of 150 V and 750 Hz. The protection of electroluminescent devices against humidity and temperature was investigated, and it was found that the films tested offer less protection than silicon inks, as these provide greater system flexibility as well as greater resistance to humidity and temperature.

Keywords: electroluminescent, encapsulation, inorganic, *roll-to-roll*, fabric.

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS ELETROLUMINESCENTES POR R2R

Resumo. Os dispositivos eletroluminescentes (EL) são um exemplo perfeito de iluminação em estado sólido. A fabricação dos dispositivos se realizou com uma serigrafia plana *roll-to-roll* imprimindo um total de 4 camadas, em que cada camada se coloca uma sobre a outra, fabricando 200 dispositivos por dia. Os dispositivos EL foram submetidos a condições ambientais extremas ao introduzir os dispositivos no interior da câmara climática a 40°C e 90% RH durante um máximo de 336h, e aplicar uma tensão de 150 V e 750 Hz. Pesquisou-se a proteção dos dispositivos eletroluminescentes ante a umidade e a temperatura. Os filmes ensaiados proporcionam menor proteção que as tintas de silicone, já que estas proporcionam melhores propriedades tanto de flexibilidade do sistema quanto de resistência ante a umidade e temperatura.

Palavras-chave: eletroluminescente, encapsulação, inorgânico, *roll-to-roll*, tecido.

1. Introducción

Los dispositivos electroluminiscentes [1] de corriente alterna (ACTFEL) se basan en sistemas multicapas donde cada capa [2] tiene una función concreta por desarrollar. Cuando se aplica tensión entre dos materiales conductores que contienen una sustancia electroluminiscente, esta se excita y los electrones promocionan a estados de energía superior (absorbiendo energía) y al relajarse liberan energía en forma de fotones emitiendo luz. La estructura básica de estos dispositivos se muestra en la figura 1. El sistema está formado por cuatro capas, la capa electroluminiscente está compuesta de sulfuro de zinc dopado, en función del material dopante el color de emisión varía. La capa de dieléctrico se basa en una matriz polimérica con partículas de material con una elevada constante dieléctrica como el Titanato de Bario (BaTiO_3). Para el electrodo se pueden utilizar diferentes tipos de materiales metálicos, en el presente proyecto se trabaja con plata. Por último, en la capa conductora transparente [3, 4] se pueden utilizar diferentes tipos de materiales tanto inorgánicos como el óxido de antimonio y estaño (ATO) o el óxido de indio y estaño (ITO) o materiales orgánicos como la polianilina o el PEDOT:PSS ("poly(3,4ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)").



Figura 1. Estructura básica dispositivos electroluminiscentes

Fuente: CETEMMSA

El desarrollo de los dispositivos electroluminiscentes se puede realizar mediante diferentes técnicas dependiendo de la aplicación final, *spin coater*, *doctor blade*, *bar coater*, serigrafía, flexografía, entre otros. Existe un gran número de referencias de dispositivos EL depositados sobre plástico y también dispositivos EL comerciales depositados sobre plástico con luminancias máximas entre 20-200 cd/m^2 . Sin embargo, la producción de dispositivos sobre sustrato textil [5] todavía no ha sido presentada. En este trabajo se presenta el primer ejemplo de dispositivo electroluminiscente desarrollado sobre sustrato textil por serigrafía *roll to roll* con elevada estabilidad frente al agua. El sustrato textil representa un mayor reto, ya que la superficie de este presenta una elevada rugosidad y por consiguiente la

interacción de la tinta y el sustrato es de vital importancia, puesto que la continuidad de la capa de cada material está directamente afectada por los parámetros de porosidad y rugosidad del sustrato; el objetivo es evitar el craqueo de las capas por la propia elasticidad del tejido.

Además, otro factor de muy importante es el agua, los dispositivos electroluminiscentes aún conteniendo en su mayoría materiales inorgánicos presentan una capa polimérica con una elevada higroscopia que provoca la necesidad de protección de dichos dispositivos cuando trabajan en el exterior o en ambientes extremos.

2. Experimental

2.1. Desarrollo de dispositivos por *roll to roll*

La fabricación de los dispositivos se ha llevado a cabo con una serigrafía plana *roll-to-roll*, Serigon 350, desarrollada explícitamente para el sector de los Printed Electronics. La máquina está formada por una estación de impresión y dos estaciones de curado, la primera de curado ultravioleta y la segunda está compuesta de dos hornos, el primero de temperatura y el segundo de infrarrojo.

En el desarrollo por *roll-to-roll* de los dispositivos electroluminiscentes es muy importante seleccionar el sustrato adecuado respecto a la planaridad, rugosidad, y evitar la elasticidad, ya que provocaría una pérdida de registro. Se ha seleccionado un sustrato 100% PES (poliéster) de 110 g/m^2 con un tratamiento ignífugo e hidrófobo para mejorar posteriormente las prestaciones de los dispositivos frente a la humedad y la temperatura.

Se ha optimizado el proceso de impresión variando los principales parámetros que afectan a la impresión por serigrafía: distancia entre pantalla y rasqueta, dureza goma, inclinación rasqueta y velocidad de impresión.

El desarrollo se inicia con la deposición del electrodo metálico con una tinta de plata y posteriormente se deposita el dieléctrico. Dichas capas se imprimen mediante una pantalla de 195 hilos/pulgada. Seguidamente se deposita el material electroluminiscente con una pantalla de 156 hilos/pulgada y, por último, la capa conductora transparente con una pantalla de 358 hilos/pulgada. Todas las capas se curan a 125 °C durante un tiempo de cuatro minutos.

Los dispositivos se caracterizan mediante la medida de capacidad y las propiedades fotométricas. Estas son medidas a 150 V y 700 Hz con una esfera integradora conectada a un espectrómetro Ocean Optics.

2.2. Encapsulación

El proceso de encapsulación se ha llevado a cabo mediante dos vías, por una parte el desarrollo *de films* y por otro el de tintas. Se ha trabajado con tres naturalezas distintas. En la siguiente tabla se presentan los materiales utilizados en el proceso de encapsulación.

Tabla 1. Materiales encapsulantes

Material encapsulante	Naturaleza
ME 1	Vinilo
ME 2	PVC
ME 3	Silicona
ME 4	Silicona

Fuente: CETEMMSA

La encapsulación mediante los *films* se ha llevado a cabo mediante presión y temperatura con un equipo termosellador, a 125 °C durante 15 minutos. La encapsulación por medio de las tintas se ha realizado con un equipo de serigrafía semiautomática ATMA AT P 60, utilizando una pantalla de 195 hilos/pulgada y curando la capa a 135 °C durante 15 minutos.

Los dispositivos encapsulados se han sometido a ensayos de resistencia a la humedad y temperatura, introduciendo dichos sistemas dentro de la cámara climática CCI a 40 °C y 90% RH, conectados a una fuente de alimentación a 150 V y 750 Hz. Los resultados se han comparado con dispositivos sin encapsular con el objetivo de corroborar la eficacia de los materiales protectores. Las medidas fotométricas se han realizado a tiempo cero y a diferentes tiempos de control a lo largo de toda la experimentación hasta que los dispositivos han dejado de presentar iluminación.

3. Resultados y discusión

3.1. Desarrollo de dispositivos por roll to roll

Los resultados obtenidos muestran una óptima fabricación de 200 dispositivos electroluminiscentes, ya que el 97% de estos presentan una luminancia superior a

las 250 cd/m² y un 3% de los dispositivos muestran una luminancia alrededor de 150 cd/m².

En las siguientes dos figuras se muestra una bobina EL sobre sustrato textil y un dispositivo EL de la bobina presentando iluminación.

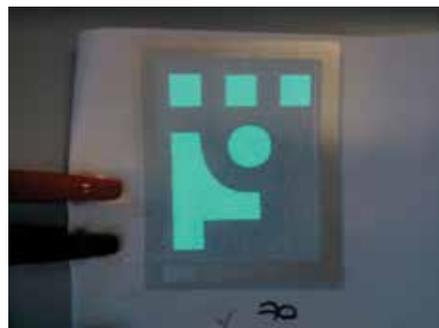


Figura 2. Imagen dispositivo EL sobre tejido

Fuente: CETEMMSA

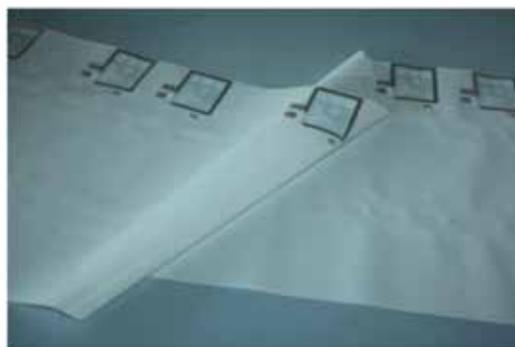


Figura 3. Bobina dispositivos EL depositados sobre sustrato plástico

Fuente: CETEMMSA

El color de emisión de todos los dispositivos es homogéneo y la cromaticidad de la emisión azul-verde de la capa activa se describe mediante las coordenadas CIE $x = 0,1616$ e $y = 0,2658$.

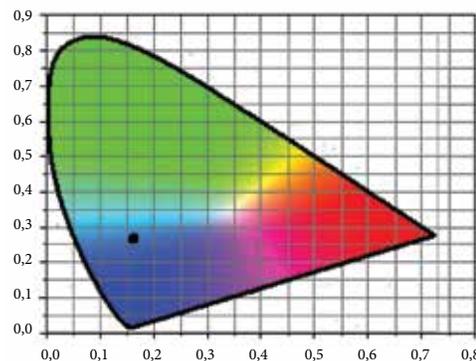


Figura 4. Diagrama de cromaticidad x,y

Fuente: CETEMMSA

3.2. Encapsulación

Todos los dispositivos desarrollados, excepto los protegidos con el material ME 2, presentan una elevada flexibilidad con un elevado ángulo de flexión, mientras que los sistemas con el ME 2 presentan una elevada rigidez debido al elevado espesor del propio film.

Los resultados dentro de la cámara climática se muestran en las figuras 5 y 6. En la figura 5 se presentan los resultados de luminancia a lo largo de toda la experimentación; tal y como se puede comprobar, en los dispositivos sin encapsular la luminancia disminuye drásticamente en las primeras 10 horas de ensayo. Dichos dispositivos tienen una duración de 37 horas mientras que el resto de sistemas permanecen más tiempo dentro de la cámara climática. Los dispositivos protegidos con el *film* vinílico ME 1 también presentan muy baja resistencia al agua, mientras que el *film* ME 2 tiene una resistencia mayor, llegando a las 100 horas con una disminución del 25% de la luminancia inicial. Los dos encapsulantes en forma de tinta y de naturaleza de silicona presentan muy buen comportamiento frente al agua y temperatura. Se han obtenido resultados de resistencia durante 336 horas y aún padeciendo una afectación importante los sistemas sólo presentaban una reducción de la luminancia inicial del 35% aproximadamente para el ME 4 y del 28% para el ME 3.

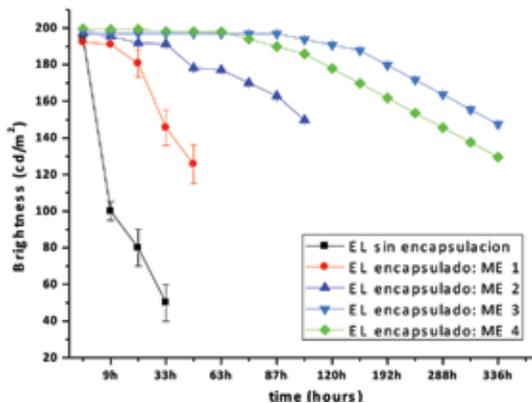


Figura 5. Tiempo de vida de los dispositivos EL

Fuente: CETEMMSA

En la figura 6 se muestran las imágenes de los dispositivos EL al inicio de la experimentación, a las 10 horas y al final del ensayo para cada material. Tal y como se puede comprobar, los dispositivos sin encapsular presentan afectación a las 10 horas de ensayo, mientras que los sistemas protegidos permanecen igual. A medida que avanza la experimentación, los dispositivos van

padeciendo mayor afectación y las zonas sin iluminación o *dark-spots* van aumentando el área hasta el punto que los sistemas dejan de funcionar. Los materiales que proporcionan mayor protección son las siliconas, protegiendo a los sistemas durante más de 14 días (336 horas). Los sistemas encapsulados con *films* presentan menor protección, aún así el sistema protegido con el material ME 3 resiste hasta las 100 horas con una afectación mínima.

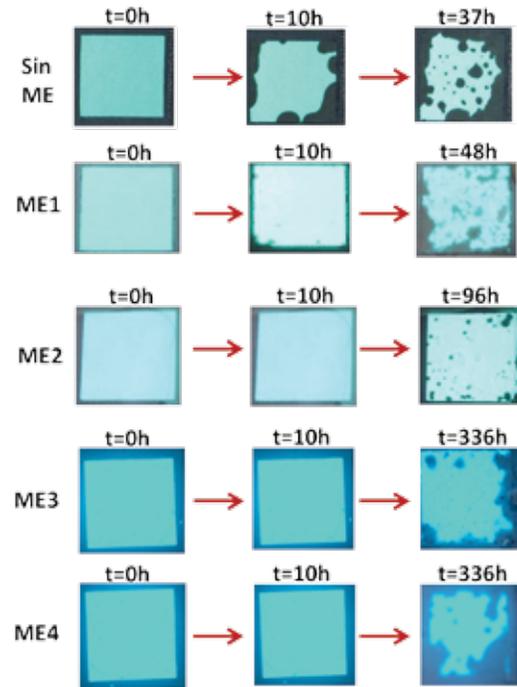


Figura 6. Imágenes de píxeles de EL a tres tiempos diferentes dentro de la cámara climática

Fuente: CETEMMSA

Las zonas no iluminadas o *dark-spots* se generan en la superficie. En la figura 7 se muestra una imagen de microscopio de un *dark-spot*.

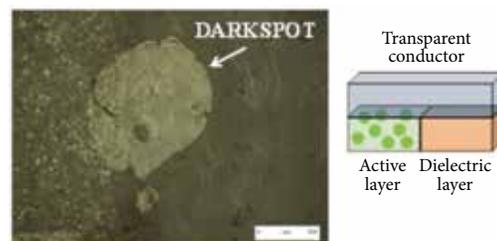


Figura 7. Izquierda: Imagen de microscopio óptico de un dispositivo EL. Derecha: Parte de la estructura del EL de la imagen mostrada por microscopio.

Fuente: CETEMMSA

Los *dark-spots* se generan debido al conductor transparente, ya que está formado por una solución acuosa de PEDOT:PSS. El PEDOT es la parte conductora de la formulación, sin embargo, es insoluble y requiere de otros polímeros para poder ser procesado, en este caso de PSS (ver figura 8). Las moléculas de PEDOT están rodeadas de moléculas de PSS y por consiguiente la formulación puede ser procesada por serigrafía. Cuando los dispositivos EL son sometidos a humedad, el PEDOT:PSS al ser higroscópico absorbe el agua y se rehidrata provocando el *dark-spot*, ya que en la forma hidratada no presenta conductividad.

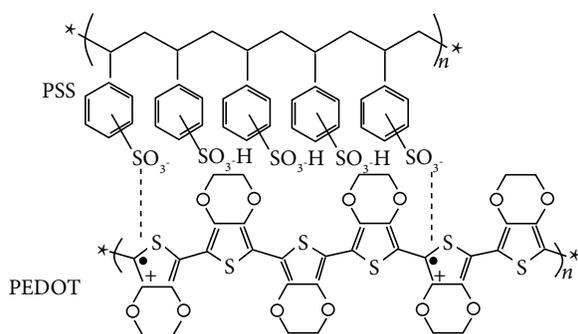


Figura 8. Estructura química del conductor transparente pedot:pss

Fuente: CETEMMSA

4. Conclusiones

El desarrollo de los dispositivos electroluminiscentes mediante *roll to roll* proporciona una disminución de coste importante para la fabricación en serie de dichos sistemas. La serigrafía *roll to roll* es un sistema reproducible y óptimo para la fabricación de sistemas multicapa en el campo del Printed Electronics.

Se ha investigado la protección de los dispositivos electroluminiscentes frente a la humedad y la temperatura. Se ha trabajado con tres naturalezas diferentes, tanto en *film* como en tinta (vinílica, PVC y silicona). Los *films* ensayados proporcionan menor protección que las tintas de silicona, ya que estas proporcionan mejores propiedades tanto de flexibilidad del sistema como de resistencia frente a la humedad y temperatura.

Referencias

- [1] P. D. Rack y P. H. Holloway, *Materials science and Engineering*, R21, pp. 171-219, 1998.
- [2] J. Ibañez, E. García, *Displays*, Vol. 28, pp. 112-117, 2007.
- [3] J. K. Mun, W. S. Dong, K. Jin-Young, H. P. Shang, B. Y. Ji, *Carbon*, Vol. 47, 2009, pp. 3461-6465.
- [4] T. Satoh, H. Miyashita, A. Nishiyama, T Hirati *Proc. Of ASID*, 2006, 8-12 Oct, New Delhi
- [5] B. Hu, D. Li, O. Ala, P. Manandhar, Q. Fan, D. Kasilingam, P. D. Calvert, *Advanced Funcional Materials*, Vol. 20, pp. 1-7, 2010.