

1907-2007: 100 años de eficiencia del LED

Por Pascual Bolufer

Pascual Bolufer
Físico
Instituto Químico de
Sarriá

Los leds (Light emitting diode) pese a su relativamente alto precio, están revolucionando el mundo de la iluminación, desde las luces de la bicicleta y del coche hasta las luces de tráfico en las calles y las grandes pantallas de video.

Una de las razones de su alta eficiencia, es porque el led permanece frío, o emite poco calor. El rendimiento de una lámpara de incandescencia es solo el 5%, y el 95% de su consumo eléctrico se pierde en calor. Hasta ahora la alternativa económica mejor era el tubo fluorescente, que alcanza el 25%. El tubo largo, porque el compacto es de solo el 15%.

El Dep. de Energía de EE. UU. recuerda en 2007, que si el 50% del alumbrado de EE. UU. se substituye por diodos blancos de nitruro de galio, se ahorrarán 41 gigavatios, es decir, habría que cerrar 41 Centrales Eléctricas.

La Agencia Internacional de Energía, en su informe 2006, afirma que los leds blancos podrían ahorrar 39 teravatios-hora en Inglaterra.

El avance desde 1950 a 1990

En 1907 Henry Joseph Round, inglés, descubrió accidentalmente el led, mientras investigaba un diodo de vacío, y lo consideró un curioso fenómeno de electroluminiscencia pero el fenómeno fue olvidado.

La primera interpretación correcta, moderna de la emisión de luz de la unión p-n nos la dio Kart Lehouecq, en 1951, en New Jersey. Según él: la luminiscencia procedía de la inyección de portadores minoritarios de cargas a través de la unión p-n, en polarización directa.

Desde 1951 el desarrollo del Led ha progresado sin cesar, y continúa hoy día. Por de pronto hubo que substituir el SiC, usado por H. J. Round, por materiales más eficientes, basados en los compuestos III-V.

En 1952 Welker presenta el monocristal de GaAs, necesario para el láser de inyección.

En 1955 aparece el primer Led del espectro visible, con compuestos de III-V, desarrollado por Wolf, New Jersey. Es el GaP, con luz naranja. Pero la falta de la unión p-n causaba ineficiencia.

En la década 1960-70 aparecieron los leds rojo-amarillo-naranja-verde, a base de los compuestos III-V, como el GaPAs, el GaP dopado con nitrógeno, GaPAs también dopado con N, y el GaP dopado con zinc y oxígeno. Estos leds eran más eficientes, pero quedan lejos de los actuales basados en AlGaAs y AlGaInP.

Estos desarrollos costaron su esfuerzo, pero quedaba lo peor: el led azul.

En 1992 Shuji Nakamura, de la empresa Nichia, presentó el GaInN, de color azul y verde, de doble heteroestructura y de pozo cuántico.

Desde 1993 conseguir el led blanco

Tenía que ocurrir: el paso siguiente fue el led blanco, indispensable en iluminación, que muestra a cada objeto con su color original, y que abre a los leds un gran mercado mundial.

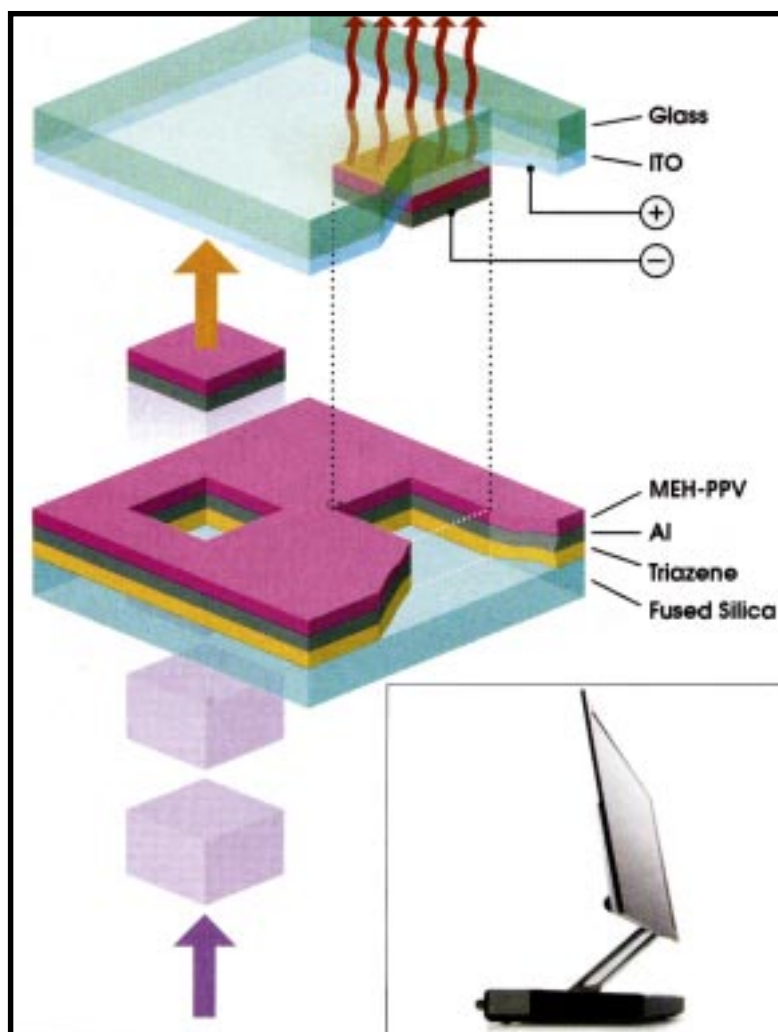
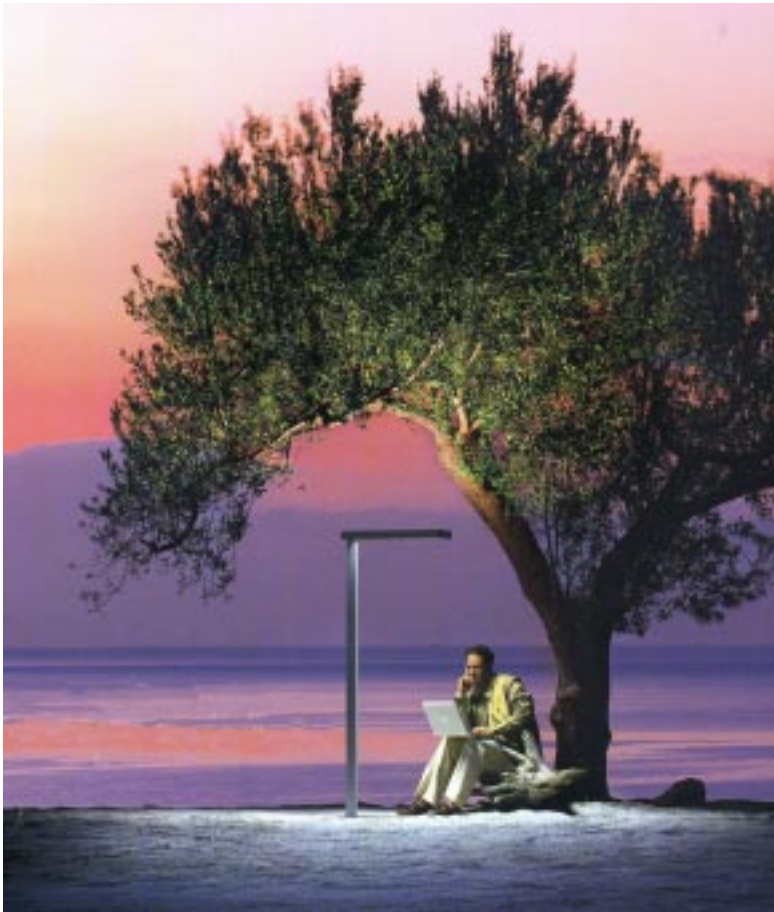


Foto 1
El gráfico muestra la fabricación de píxeles de Led orgánicos, ayudada con láser UV. Foto de Paul Scherrer Institut, Suiza. En el ángulo inferior derecha, la pantalla de TV creada por Sony XEL-1, de un espesor de 3 mm, con píxeles de Oled (led orgánicos). Se venderá en Japón al precio de 1200 euros. Mide 11 pulgadas. El consumo será de solo 45W. Consta de un panel de solo varios centímetros de espesor, protegido con dos láminas finas de vidrio. Foto Sony.



Para emitir luz blanca la solución es mezclar leds de diversos colores, tarea iniciada por Nichia, Japón en 1993. De hecho es un chip con un fósforo amarillo y un led azul. Nichia combinó GaN y In-GaN, un método que hoy no se usa.

Eliminar la vieja lámpara de incandescencia, de Thomas Edison, ha costado lo suyo, pero ya la hemos superado.

Con la ayuda de nanocristales de sulfuro de cadmio D. D. Sarma, científico de materiales, del Indian Institute of Science, en Bangalore, hizo una película, que usó para pintar un led ultravioleta, y el resultado es una luz, que nosotros percibimos como blanca. El efecto se debe a los nanocristales de solo 5 nanómetros.

Hoy con una mezcla de fósforos obtenemos luz blanca a partir de un led ultravioleta. Es el mismo método utilizado en el alumbrado fluorescente. Los nanocristales son mejores, porque son tan pequeños que no dispersan la luz, pero tampoco es una solución ideal.

El mayor inconveniente del led blanco convencional radica en que no es verdaderamente blanco, sino leds recubiertos de fósforo: un led azul, como el InGaN, de una longitud de onda 450-470 nm ultravioleta, recubierto de un fósforo amarillo, un compuesto de Itrio y Aluminio activado con Cerio(YAG:Ce), que da un color saturado, de 570-573 nm.

Parece blanco, pero es un blanco frío, de 6000k, que es

poco apropiado para el alumbrado doméstico, con poca participación del espectro rojo.

El led ultravioleta es más eficiente que el led azul en la conversión, para obtener luz blanca. El primer led UV fue presentado en abril 2002 (380 nm) por Nitride Semiconductors y Xerox, de Palo Alto. En esta banda del espectro aprovechamos la gran experiencia de la industria de lámparas fluorescentes en pasar de las líneas del mercurio (366 nm) a la luz blanca.

Hay una viva competición en lograr el primer fósforo blanco caliente a 5000k, semejante a la luz solar. Un solo fósforo no tendría los problemas de los sistemas de mezclas con sus ciclos de envejecimiento, pero tiene que ser energéticamente muy eficiente y estable, para tener éxito comercial.

En el sector de fósforos hay muchas posibilidades todavía por explorar.

Probablemente el primer fósforo presentado fue en julio 2005, por el Prof. Sue-Lein Wang, de la Universidad Tsing Hua, Taiwán. Es un galofosfato de zinc, con nanoporos. La luz blanca parece proceder de la fluorescencia azul en zonas muy ordenadas del led, que se combina con una emisión amarilla, procedente de zonas menos ordenadas. Pero carecemos de datos sobre luminancia, eficiencia y estabilidad.

El óxido de zinc emite luz blanca, pero en eficiencia debe llegar al ideal de 100 lm/W.

La última investigación se centra en los nanocristales de fósforo o semiconductores, del tipo III-V, porque se pueden introducir cambios sintonizables para ajustar su tamaño físico a las frecuencias de luz. La mezcla de tamaños puede producir el blanco. Cada tamaño emite un color.

Foto 2
Zumtobel, Italia, ofrece soluciones luminotécnicas con leds.

La 2ª generación de leds: el cristal fotónico

Los leds blancos han mejorado mucho su rendimiento. En 2006 y 2007 se han conseguido valores de 100-150 lm/W, que podemos comparar con el rendimiento de la lámpara de incandescencia de 15 lm/W y la fluorescente, de 70 lm/W.

En las pantallas de cristal líquido de TV y ordenadores comienzan ya a usarse los leds como iluminación de fondo. No solo hay una reducción de consumo con el led, sino que mejora la gama de colores.

Hasta aquí hemos ignorado otro aspecto que distingue fundamentalmente el estado sólido respecto del alumbrado convencional: la maniobrabilidad.

Son los leds del futuro. Ahora el led convencional aprovecha el 50% de la energía eléctrica en generación de luz, y pierde el resto en luz que queda atrapada dentro del led y en calor. La causa es el alto índice de refracción y la reflexión total interna en la interfase aire-diodo.

El nitruro de galio tiene un índice de refracción más elevado que el del diamante (2.67 respecto de 2.42). En el diamante la luz queda atrapada dentro, por ello se pule el cristal de forma que la luz salga por unas facetas escogidas, de diseño, que dan al diamante su gran valor.

El GaN atrapa más la luz que el diamante, con la diferencia de que la luz ha sido generada dentro del GaN. Pero la estructura cristalina permite extraer la luz en ciertas direcciones. Cambiar la estructura cristalina del semiconductor aumenta la eficiencia del led, sin cambiar su estructura electrónica.

Cuanta más luz atrapada saquemos al exterior, más brillante será el led, sin aumentar en nada su consumo eléctrico: es la nueva generación de leds de cristal fotónico. Hay potentes empresas que investigan para lograr la producción en gran escala de estos nuevos leds, muy eficaces en la extracción de luz.

La luz generada por el par electrón-hueco puede seguir muchos caminos dentro del led. Entre la capa p y n hay la capa óptimamente activa, que es la generadora de luz, la cual en gran parte se pierde por reflexión total en la base del led y en la interfase con el aire, la superficie superior. Equivale a seguir un modo óptico horizontal de propagación. La luz no sale al exterior.

Con metales reflectores se consiguió doblar la eficiencia del led, pero todavía el 50% de la luz quedaba atrapada.

La solución actual es el cristal fotónico: estructurar la superficie del led, para producir una matriz de huecos. Es lo más eficaz para extraer los modos horizontales de propagación de la luz.

A esa estructura periódica llamamos con razón cristal fotónico, porque imita la manera como un cristal semiconductor interactúa con los electrones. Con una periodicidad ondulatoria los electrones y los huecos producen la difracción de la luz.

Del mismo modo que los cristales electrónicos disponen de una estructura de bandas permitidas y prohibidas, el cristal fotónico tiene una estructura con zonas de longitudes de onda permitidas que alternan con las prohibidas, integrada en el led. El cristal fotónico difracta la luz atrapada, y además el diseño permite escoger ángulos de emisión de luz. Así el emisor encaja bien con los requisitos de la aplicación del led.

En la naturaleza hay cristales fotónicos. Por ej: el ópalo, también ciertas mariposas exhiben en sus alas efectos visuales. Pero los cristales fotónicos del led son diferentes: son estructuras bidimensionales grabadas directamente en el chip. El diseño periódico puede tener una simetría cúbica o hexagonal, depende de la aplicación exacta, o incluso puede tener un diagrama cuasiperiódico.

Pero en todos los casos, la estructura fotónica exhibe un contraste entre el índice de refracción de las zonas llenas y vacías de la matriz (p y n). Cuanto mayor sea el contraste, más potente es el cristal fotónico en manipular la luz.

En la zona azul-verde del espectro los huecos tienen un diámetro de 200 nanómetros y están separados por 300 nanómetros. El efecto es la extracción de la luz en la superficie del GaN, por difracción (aumento de brillo). Los huecos tienen muy poca profundidad.

Se ha usado la litografía holográfica con dos haces de láser que interfieren para producir una matriz regular, de áreas iluminadas y oscuras, y lograr así el cristal fotónico. Pero este sistema no se presta a la fabricación masiva de leds fotónicos.

En cambio la llamada litografía nanoimpresa sí que promete la fabricación a gran escala de esta nueva generación de leds ultrabrillantes. Gracias a estos desarrollos, la llegada de estos leds parece más cercana que nunca:

- Philips Lumileds ya ha logrado prototipos de leds azules extrabrillantes, usando la simetría triangular del cristal fotónico. Este led es 1.5 veces más brillante que el led convencional.
- Sharp Corp. los investiga para su uso en las pantallas muy anchas de presentación con LCD. Habrá que esperar solo dos años.

Se presupone que el led de cristal fotónico ofrecerá más de 25 lm/W, en luz azul, de unos 490 nm.

La previsión es de esperar 5 años. Los leds convencionales y los nuevos serán muy potentes en el mercado de la iluminación.

Los leds blancos con fósforo también se beneficiarán con estos leds nuevos ultrabrillantes.

Referencias

- Rahman, Faiz. Photonic Crystals enable ultrabright LEDs. Photonics Spectra, July 2007.
- Schubert, Fred. Light-emitting diodes hit the centenary milestone. Compound semiconductor, october 2007.
- Cathcart, Ian. LEDs boast more than energy efficiency and durability. Osram august 2007.
- Curtis, Susan. LEDs shine brighter, but cost concerns remain. OLE, august 2007.