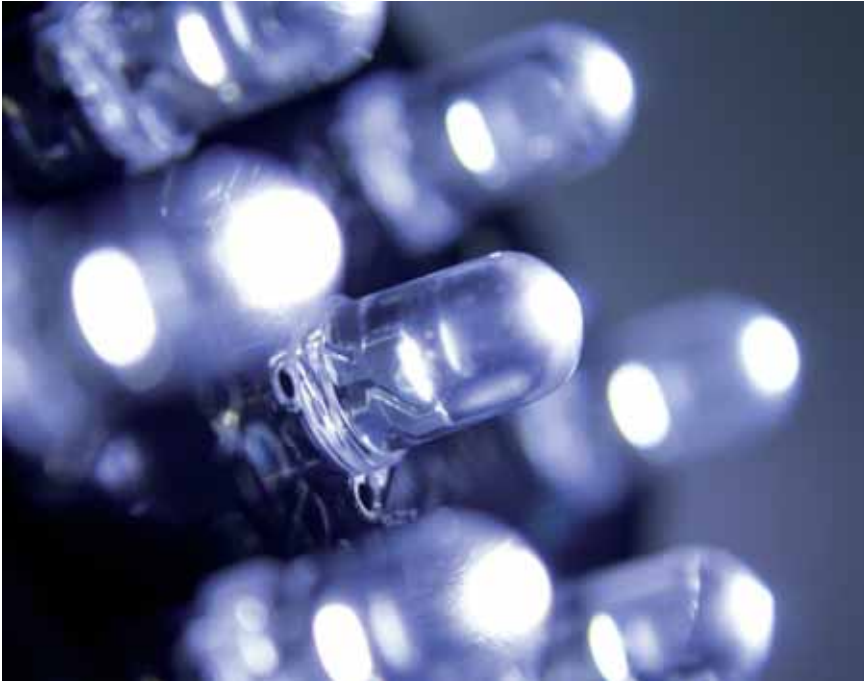


Iluminación por LED



El diodo emisor de luz, también conocido como LED (del inglés de Light-Emitting Diode) es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz incoherente de espectro reducido. Utilizado en la actualidad como alternativa para el ahorro en el consumo de energía, el Led está comenzando a ser aplicado también en dispositivos de semafORIZACIÓN y sistemas de luces de emergencias.

Historia

El primer LED fue desarrollado en 1920 por Oleg Vladimirovich Losev, aunque no se usó en la industria hasta la década del '60. Solo se podían construir de color rojo, verde y amarillo con poca intensidad de luz y limitaba su utilización a mandos a distancia y electrodomésticos para marcar el encendido y apagado. A finales del siglo XX se inventaron los LEDs ultravioletas y azules, lo que dio paso al desarrollo del LED blanco, que es un diodo LED de luz azul con recubrimiento de fósforo que produce una luz amarilla, la mezcla del azul y el amarillo produce una luz blanquecina denominada "luz de luna" consiguiendo alta luminosidad (7 lúmenes unidad) con lo cual se ha ampliado su utilización en sistemas de iluminación.

Funcionamiento físico

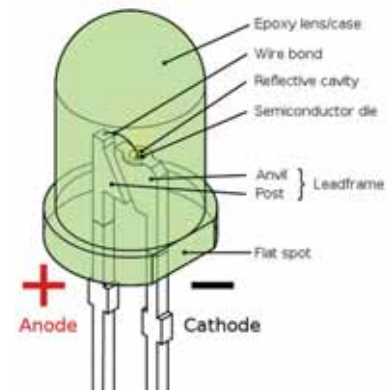
En los materiales semiconductores, un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. El que esa energía perdida cuando pasa un electrón de la banda de conducción a la de valencia se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor por ejemplo) va a depender principalmente del tipo de material semiconductor. Cuando un diodo semiconductor se polariza directamente, los huecos de la zona "p" se mueven hacia la zona "n" y los electrones de la zona "n" hacia

la zona "p"; ambos desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo. Si los electrones y huecos están en la misma región, pueden recombinarse, es decir, los electrones pueden pasar a "ocupar" los huecos, "cayendo" desde un nivel energético superior a otro inferior más estable. Este proceso emite con frecuencia un fotón en semiconductores de banda prohibida directa o "direct bandgap" con la energía correspondiente a su banda prohibida. Esto no quiere decir que en los demás semiconductores (semiconductores de banda prohibida indirecta o "indirect bandgap") no se produzcan emisiones en forma de fotones; sin embargo, estas emisiones son mucho más probables en los semiconductores de banda prohibida directa (como el Nitrato de Galio) que en los semiconductores de banda prohibida indirecta (como el Silicio). La emisión espontánea, por tanto, no se produce de forma notable en todos los diodos y sólo es visible en diodos como los LEDs de luz visible, que tienen una disposición constructiva especial con el propósito de evitar que la radiación sea reabsorbida por el material circundante, y una energía de la banda prohibida coincidente con la correspondiente al espectro visible. En otros diodos, la energía se libera principalmente en forma de calor, radiación infrarroja o radiación ultravioleta. En el caso de que el diodo libere la energía en forma de radiación ultravioleta, se puede

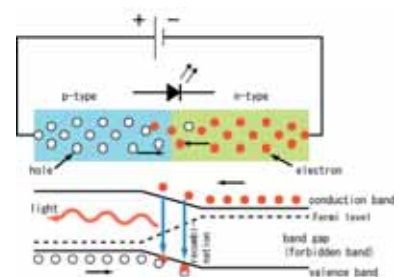
Continúa en página 96



Representación simbólica del diodo LED



Partes de un LED



El funcionamiento interno de un LED

Viene de página 92

conseguir aprovechar esta radiación para producir radiación visible, mediante sustancias fluorescentes o fosforescentes que absorban la radiación ultravioleta emitida por el diodo y posteriormente emitan luz visible.

El dispositivo semiconductor está comúnmente encapsulado en una cubierta de plástico de mayor resistencia que las de vidrio que usualmente se emplean en las lámparas incandescentes. Aunque el plástico puede estar coloreado, es sólo por razones estéticas, ya que ello no influye en el color de la luz emitida. Usualmente un LED es una fuente de luz compuesta con diferentes partes, razón por la cual el patrón de intensidad de la luz emitida puede ser bastante complejo.

Para obtener buena intensidad luminosa debe escogerse bien la corriente que atraviesa el LED; para ello, hay que tener en cuenta que el voltaje de operación va desde 1,8 hasta 3,8 voltios aproximadamente (lo que está relacionado con el material de fabricación y el color de la luz que emite) y la gama de intensidades que debe circular por él varía según su aplicación. Valores típicos de corriente directa de polarización de un LED corriente están comprendidos entre los 10 y los 40 mA. En general, los LEDs suelen tener mejor eficiencia cuanto menor es la corriente que circula por ellos, con lo cual, en su operación de forma optimizada, se suele buscar un compromiso entre la intensidad luminosa que producen (mayor cuanto más grande es la intensidad que circula por ellos) y la eficiencia (mayor cuanto menor es la intensidad que circula por ellos). El primer LED que emitía en el espectro visible fue desarrollado por el ingeniero de General Electric Nick Holonyak en 1962.

Materiales y colores

En general, los materiales empleados son el *Arsénico (As)*, *Galio (Ga)*, *Fósforo (P)*, *Nitrógeno (N)*, *Aluminio (Al)*, *Carbón (C)*, *Indio (In)* y eventualmente otros materiales, y con ellos se fabrican LED cuyas emisiones cubren desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, como se observa en la siguiente tabla de la derecha:

La más reciente innovación en el ámbito de la tecnología LED son los diodos ultravioleta, que se han empleado con éxito en la producción de luz blanca para iluminar materiales fluorescentes.

Tanto los diodos azules como los ultravioleta son caros respecto de los más comunes (rojo, verde, amarillo e infrarrojo), siendo por ello menos empleados en las aplicaciones comerciales.

Los LEDs comerciales típicos están diseñados para potencias del orden de los 30 a 60 mW. En 1999 se introdujeron en el mercado diodos capaces de trabajar con potencias de 1 vatio para uso continuo. Estos diodos tienen matrices semiconductoras de dimensiones mucho mayores para poder soportar ta-



les potencias e incorporan aletas metálicas para disipar el generado por efecto Joule.

En la actualidad se están desarrollando y empezando a comercializar LEDs con prestaciones muy superiores a las de hace unos años y con un futuro prometedor en diversos campos, incluso en aplicaciones generales de iluminación.

El comienzo del siglo XXI ha visto aparecer los diodos OLED (LED orgánicos), fabricados con materiales polímeros orgánicos semiconductores. Aunque la eficiencia lograda con estos dispositivos está lejos de la de los diodos inorgánicos, su fabricación promete ser considerablemente más barata, siendo además posible depositar gran cantidad de diodos sobre cualquier superficie empleando técnicas de pintado para crear pantallas a color.

OLED (Organic Light-Emitting Diode o diodo orgánico de emisión de luz) es un diodo basado en una capa electroluminiscente que está formada por una película de componentes orgánicos, y que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos.

No se puede hablar realmente de una tec-

nología OLED, sino más bien de tecnologías basadas en OLED, que dependen del soporte y finalidad a la que vayan destinados.

Su aplicación es realmente amplia, ya que no solo tienen una aplicación pura como en pantallas reproductoras de imagen, sino que su horizonte se amplía al campo de la iluminación, privacidad y otros múltiples usos que se le pueda dar.

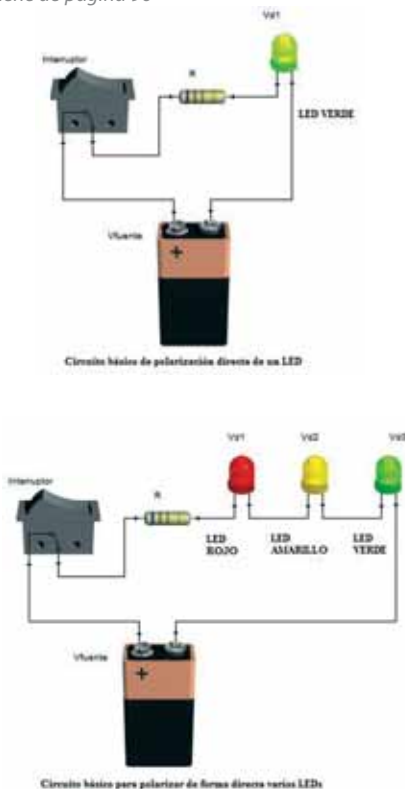
Conexión

Para conectar LEDs de modo que iluminen de forma continua deben estar polarizados directamente, es decir, con el polo positivo de la fuente de alimentación conectado al ánodo y el polo negativo conectado al cátodo. Además, la fuente de alimentación debe suministrarle una tensión o diferencia de potencial superior a su tensión umbral. Por otro lado, debe garantizarse que la corriente que circula por ellos no exceda los límites admisibles, lo que dañaría irreversiblemente al LED (esto se puede hacer de forma sencilla con una resistencia R en serie con los LEDs). Unos circuitos sencillos que muestran cómo polarizar directamente LEDs son los siguientes:

Continúa en página 100

Longitud de onda - nm	Rango	Material
940	Infrarrojo	GaAlAs / GaAs
880	Infrarrojo	GaAlAs / GaAs
850	Infrarrojo	GaAlAs / GaAs
660	Rojo profundo	GaAlAs / GaAs
635	Rojo Alta Eficiencia	GaAsP / GaP
633	Rojo	InGaAlP
620	Naranja	InGaAlP
612	Naranja	InGaAlP
605	Naranja	GaAsP / GaP
595	Amarillo	InGaAlP
592	Amarillo Puro	InGaAlP
585	Amarillo	GaAsP / GaP
4500K	Blanco Tibio	SiC / GaN
6500K	Blanco neutro	SiC / GaN
8000K	Blanco frío	SiC / GaN
574	Amarillo Lima	InGaAlP
570	Verde amarillento	InGaAlP
565	Verde alta eficiencia	GaP / GaP Phosphide
560	Verde puro	InGaAlP
555	Verde puro	GaP / GaP Phosphide
525	Verde agua	SiC / GaN
505	Verde azulado	SiC / GaN
470	Azul	SiC / GaN
430	Ultra Azul	SiC / GaN

Viene de página 96



La diferencia de potencial V_d varía de acuerdo a las especificaciones relacionadas con el color y la potencia soportada.

En términos generales, pueden considerarse de forma aproximada los siguientes valores de diferencia de potencial:

- > Rojo = 1,8 V a 2,2 voltios.
- > Anaranjado = 2,1 a 2,2 voltios.
- > Amarillo = 2,1 V a 2,4 voltios.
- > Verde = 2 V a 3,5 voltios.
- > Azul = 3,5 V a 3,8 voltios.
- > Blanco = 3,6 voltios.

Luego mediante la ley de Ohm, puede calcularse la resistencia R adecuada para la tensión de la fuente V_{fuente} que utilizemos.

$$R = \frac{V_{fuente} - (V_{d1} + V_{d2} + \dots)}{I}$$

El término I , en la fórmula, se refiere al valor de corriente para la intensidad luminosa que necesitamos. Lo común es de 10 mA para LEDs de baja luminosidad y 20 mA para LEDs de alta luminosidad. Un valor superior puede inhabilitar el LED o reducir de manera considerable su tiempo de vida.

Otros LEDs de una mayor capacidad de corriente conocidos como LEDs de potencia (1W, 3W, 5W, etc.), pueden ser usados a 150 mA, 350 mA, 750 mA o incluso a 1000 mA dependiendo de las características optoelectrónicas dadas por el fabricante.

Cabe recordar que también pueden conectarse varios en serie, sumándose las diferencias de potencial en cada uno.

También pueden hacerse configuraciones

en paralelo, aunque este tipo de configuraciones no son muy recomendadas para diseños de circuitos con LEDs eficientes.

Ventajas

La iluminación con LEDs presenta indudables ventajas: fiabilidad, mayor eficiencia energética, mayor resistencia a las vibraciones, mejor visión ante diversas circunstancias de iluminación, menor disipación de energía, menor riesgo para el medio ambiente, capacidad para operar de forma intermitente de modo continuo, respuesta rápida, etc. Asimismo, con LEDs se pueden producir luces de diferentes colores con un rendimiento luminoso elevado, a diferencia de muchas de las lámparas utilizadas hasta ahora, que tienen filtros para lograr un efecto similar (lo que supone una reducción de su eficiencia energética). Cabe destacar también que diversas

pruebas realizadas por importantes empresas y organismos han concluido que el ahorro energético varía entre un 70% y 80% respecto a la iluminación tradicional que se utiliza hasta ahora. Todo ello pone de manifiesto las numerosas ventajas que los LEDs ofrecen en relación al alumbrado público.

Los LEDs de Luz Blanca son uno de los desarrollos más recientes y pueden considerarse como un intento muy bien fundamentado para sustituir las bombillas actuales (lámparas incandescentes) por dispositivos mucho más ventajosos. En la actualidad se dispone de tecnología que consume el 92% menos que las bombillas incandescentes de uso doméstico común y un 30% menos que la mayoría de las lámparas fluorescentes; además, estos LEDs pueden durar hasta 20 años y suponer un 200% menos de costes totales

Continúa en página 104

Criterios para la elección de un LED

La enorme cantidad de fabricantes de LED y empresas que los encapsulan en montajes especiales, hace que la elección del componente adecuado para un producto sea compleja. Desgraciadamente muchos fabricantes dan información limitada o casi nula sobre los productos que ofrecen y muchas veces la elección se hace sólo por razones de costo, con degradación de la calidad del producto final y de su vida útil.

- **Frecuencia pico y Spectral line half-width:** Influencia térmica: estas características son críticas en displays multiLED, donde la variación de matiz entre distintos diodos resulta muy notoria. En el caso de los diodos blancos, la variación del matiz hacia el azul o el amarillo según las condiciones ambientales puede ser evidente.
- **Diagrama de irradiación:** Según la ubicación del LED puede ser conveniente que se lo vea desde variados ángulos o por el contrario, que la luz se enfoque sólo en ciertas direcciones preferenciales (como hacen los LED ovales). Esta decisión tiene además fuerte influencia en el consumo de potencia y por ende en el diseño de los circuitos de excitación y las fuentes de alimentación.
- **Intensidad luminosa:** La intensidad luminosa máxima posible de obtener de un LED es importante en aplicaciones de iluminación o en el caso de indicadores que deben poder verse en condiciones de alta iluminación ambiental. Vale destacar los últimos avances notables en el área de potencia lumínica, que permiten plantear su uso en aplicaciones de iluminación.
- **Dispersión:** Esta característica es sumamente importante en el caso de displays de calidad con múltiples LED. Por razones de fabricación, los diodos semiconductores tienen una importante dispersión y en el caso de los LED esta dispersión se traduce en importantes variaciones de intensidad para una misma excitación. Los fabricantes más serios realizan una clasificación (binning) de diodos de performance similar, que forma parte del código del producto.
- **Forma de montaje:** Además de los tradicionales LED de inserción de 5mm y 3mm, hoy están disponibles otros montajes de inserción y encapsulados de montaje superficial, ya sea PLCC o con los formatos 1206, 0805, etc. En el caso de los LED de potencia SMD el respaldo del LED suele ser metalizado, de modo de soldarlo al circuito impreso, y usar al PCB como disipador. En otros casos los LED de potencia tienen un orificio para su fijación mediante tornillos a un disipador.
- **Vida útil:** Los LED se construyen encapsulando al chip en una base epoxy, que hace de base y de lente, y sus terminales internos son conectados a los externos mediante epoxy conductor e hilos de oro. Cuando un LED sufre variaciones térmicas estas uniones son sometidas a distintas dilataciones y procesos de fatiga térmica, que a la larga pueden llevar a un circuito abierto. En ensayos térmicos, cuando la temperatura ha superado los 100°C la estadística muestra un elevado incremento en la tasa de fallas; en el rango de 100°C a 115°C cada incremento en la temperatura máxima de 5°C disminuye la cantidad de ciclos tolerables antes de una falla en 5 veces.

Viene de página 100

de propiedad si se comparan con las bombillas o tubos fluorescentes convencionales. Estas características convierten a los LEDs de Luz Blanca en una alternativa muy prometedora para la iluminación.

Los LEDs proveen otros beneficios efectivos en costo también: cuando una lámpara incandescente falla, se quema del todo y necesita ser reemplazada cada 6 meses a un año. Por otro lado los numerosos puntos luminosos generados por cada LED individual no se queman al mismo tiempo. Menos lámparas de semáforo quemadas, por ejemplo, significan intersecciones más seguras y una importante mejora en la seguridad pública. Las agencias de gobierno que han instalado LED han descubierto ahorros adicionales en el mantenimiento y costo de reemplazo de lámparas, debido a que los operarios de calle no necesitan reemplazar lámparas quemadas tan a menudo. Como una característica adicional a la seguridad los semáforos de LED son más visibles en la niebla.



LED's aplicados a la señalización. En este caso en un semáforo peatonal.

Aplicaciones

Los diodos infrarrojos (IRED) se emplean desde mediados del siglo XX en mandos a distancia de televisores, habiéndose generalizado su uso en otros electrodomésticos como equipos de aire acondicionado, equipos de música, etc., y en general para aplicaciones de control remoto, así como en dispositivos detectores, además de ser utilizados para transmitir datos entre dispositivos electrónicos como en redes de computadoras y dispositivos como teléfonos móviles, computadoras de mano, aunque esta tecnología de transmisión de datos dio paso al bluetooth en los últimos años, quedando casi obsoleta.

Los LEDs se emplean con profusión en todo tipo de indicadores de estado (encendido/apagado) en dispositivos de señalización (de tránsito, de emergencia, etc.) y

en paneles informativos (el mayor del mundo, del NASDAQ, tiene 36,6 metros de altura y está en Times Square, Manhattan). También se emplean en el alumbrado de pantallas de cristal líquido de teléfonos móviles, calculadoras, agendas electrónicas, etc., así como en bicicletas, faros de automóviles y otros usos similares.



LED's aplicados al automovilismo: Vehículo con luces diurnas de LEDs

El uso de lámparas LED en el ámbito de la iluminación, incluyendo la señalización de tráfico, es previsible que se incremente en el futuro, ya que aunque sus prestaciones son intermedias entre la lámpara incandescente y la fluorescente, presenta indudables ventajas, particularmente su larga vida útil.

En cuanto a los nuevos semáforos LED's, en lugar de una sola lámpara incandescente, están compuestos de muchas pequeñas lámparas LED's montadas en una sola unidad. Todos los puntos luminosos juntos forman una lámpara LED más brillante que la lámpara incandescente y es un 80% más eficiente en el ahorro de la energía

Los LED's, asimismo, son ideales para acompañar dispositivos de seguridad como CCTV, ya que su bajo consumo permite integrar la iluminación a los sistemas de backup, manteniendo la iluminación ante cortes de energía eléctrica. Asimismo, ofrecen iluminación a cámaras destinadas a la visión nocturna. Por eso es que resulta más efectivo iluminar efectivamente con LED's de alto brillo y no con infrarrojos, debido a que no permiten ver eficazmente (en un sector o perímetro un vigilador no tiene visión y el operador solo ve formas sin definición).

Las principales aplicaciones relacionadas al CCTV tienen que ver con la creación de túneles lumínicos acompañando las cámaras o domos, permitiendo iluminar eficazmente sectores determinados sin contaminar lumínicamente, por ejemplo, una casa dentro de un country o barrio cerrado.



Iluminador de Led's

También pueden utilizarse aplicados a un sistema de emergencia para la vía pública, que otorga iluminación ante cortes de energía eléctrica. De esta manera se mejoran sustancialmente las condiciones de seguridad, permitiendo el desplazamiento con visión en las calles y, ante la posibilidad de un hecho delictivo, se reducen los riesgos.

Pantalla de LED's

Es una pantalla muy brillante, formada por filas de LED's verdes, azules y rojos, ordenados según la arquitectura RGB, controlados individualmente para formar imágenes vivas, muy brillantes, con un altísimo nivel de contraste. Entre sus principales ventajas, frente a otras pantallas encontramos buen soporte de color, brillo extremadamente alto, lo que le da la capacidad ser completamente visible bajo la luz del sol, es increíblemente resistente a impactos, es por eso que suele utilizarse en vallas publicitarias usadas en estadios, pantallas gigantes para conciertos, entre otros.



Pantalla de LEDs en el Estadio de los Arkansas Razorbacks.

El siguiente informe fue realizado gracias a la inestimable colaboración del **Ing. Guillermo Jaquenod**, Ingeniero de Aplicación de Elko-Arrow; **Horacio Galeano**, Presidente de Ingal y **Aldo Lanzavecchia**, Titular de Iwix Argentina.