Revista Cubana de Física Vol. 1 No. 2, 1981

LÁMPARAS SEMICONDUCTORAS ROJAS PARA USO COMO SEÑALIZADORES

E. Vigil
C. González Raña
M. Mestre
S. de Roux
P. Chomat*

Laboratorio de Investigaciones Electrónicas del Estado Sólido (L.I.E.E.S.)
Facultad de Física-Matemática U.H.
*Centro de Investigaciones Microelectrónicas (C.I.M.E.) I.S.P.J.A.E.

ABSTRACT

At the present time visible light emitting diodes (LED) are used as semiconductor pilot lamps and in the construction of numeric and alfanumeric displays of different equipments.

A semiconductor lamp has been developed based on the p-n junction of $GaAs_{0,6}P_{0,4}$ obtained by Zn diffusion in an n-type

epitaxial $GaAs_{0,6}P_{0,4}$: Te layer on an n-type GaAs:Te substrate. Diffusion parameters have been controlled, as well as ohmic contact technology and LED encapsulation in order to obtain devices with appropiate characteristics for commercial use.

These devices work at 1,7 V. require near 0,03 W and have an external efficiency of approximately 0.2 %, which is a typical value for this type of device. The influence of diffusion process, contact metallization and device encapsulation on optical and electrical characteristics of the fabricated semiconductor lamps are analyzed.

RESUMEN

Actualmente se utilizan los diodos emisores de la luz (DEL) como lámparas semiconductoras para señalización de diversos tipos y en la construcción de "displays" numéricos y alfanuméricos de infinidad de equipos.

Se ha desarrollado una lámpara semiconductora roja basada en la juntura p-n de $GaAs_{0,6}P_{0,4}$ que se obtiene a partir de la difusión de Zn en una capa epitaxial tipo n de $GaAs_{0,6}P_{0,4}$ Te sobre un sustrato también tipo n de GaAs:Te. Se han controlado los parámetros de la difusión, así como puesto a punto la deposición de contactos óhmicos y el encapsulado con lentilla plástica para obtener dispositivos con características adecuadas para su utilización comercial.

Dichos dispositivos trabajan a 1.7 V, consumen aproximadamente 0.03 W y presentan una eficiencia externa alrededor de 0,2%, valor típico para los mismos. Se analiza la influencia del proceso de difusión, de los contactos metálicos y del encapsulado en las características ópticas y eléctricas de las lámparas semiconductoras fabricadas.

INTRODUCCIÓN

Los diodos emisores de luz (DEL) que emiten luz visible se utilizan ya ampliamente como señalizadores en paneles de equipos y en la construcción de "displays" numéricos y alfanuméricos. (1). El desarrollo de la tecnología de fabricación de estos dispositivos ha hecho posible lograr bajos costos y consumo unidos a una adecuada visibilidad; lo que ha conllevado a la sustitución de dispositivos luminosos tradicionales por estas fuentes de luz semiconductoras en muchos diversos tipos de equipos.

En el presente trabajo se presenta la obtención y evaluación de lámparas semiconductoras rojas de $GaAs_xP_{1-x}$ obtenidas en nuestros laboratorios. Se han desarrollado todos los pasos tecnológicos para llegar a obtener dispositivos con características adecuadas para su explotación comercial.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Los D.E.L. se han obtenido por difusión de Zn en una capa epitaxial de $GaAs_{0,6}P_{0,4}$ dopada con Te con concentración $n = 3.10^{17}$ cm^{-3}. El proceso de difusión se realizó en ámpula de cuarzo sellada al vacío con una presión de 10^{-5} torr. El

volumen del ámpula era aproximadamente 13,5 cm^3 y en ella se introdujo además de la oblea semiconductora una fuente de 7 mg de Zn. La difusión se llevó a cabo a 650°C durante 30 minutos, al final de los cuales se enfrió el ámpula de forma brusca.

Después de eliminada la difusión de Zn en la superficie del sustrato de GaAs de la capa epitaxial de $GaAs_{0,6}P_{0,4}$ por pulido mecánico, se depositaron contactos de Al en la superficie de $GaAs_{0,6}P_{0,4}$:Zn y Au-Ge en la superficie de GaAs:Te.

El contacto de Au-Ge (88% de Au y 12% de Ge) se depositó por evaporación al vacío con una presión de 10^{-5} torr. al igual que el de Al. Ambos contactos recibieron tratamiento térmico simultáneamente durante 8 minutos a 450°C en vacío o en atmósfera de H_2. Para escoger este tiempo y temperatura se realizaron diferentes tratamientos térmicos que se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1

Tiempo de tratamiento térmico (min)	Resistencia diferencial promedio de DEL (ohm)
3	50
8	8
10	12
12	13
14	15
16	18

Estas mediciones se realizaron sin soldar los contactos, haciendo un contacto por presión. El promedio se halló tomando alrededor de 10 dispositivos y los resultados para los tratamientos en vacío o atmósfera de H_2 no difieren significativamente.

Después de depositados ambos contactos en la oblea, se realizó un proceso fotolitográfico en el contacto de Al con el objetivo de extraer la luz por la superficie de los DEL; así el contacto de Al permanece sólo bordeando la superficie de emisión central (ver Fig. 1). La máscara para el proceso fotolitográfico se diseñó de manera que el área total del dispositivo resulte de aproximadamente 0,6 x 0,6 mm^2.

Con posterioridad la oblea se cortó en los DELs definidos por el proceso fotolitográfico en el Al y se montaron en sus soportes soldando toda la superficie del contacto de Au-Ge térmicamente a la base. El contacto en el Al se hizo por medio de un hilo metálico fino soldado por ultrasonido (Ver Fig.2)

Se realizaron dos tipos de encapsulados. Uno sin lente, sólo con una ventana para la salida de la luz y otro con un lente de resina epóxica (Ver Fig. 3).

RESULTADOS

La línea de la juntura se reveló por ataque químico en 1 H_2O_2 : 1 HF : 10 H_2O, determinándose la profundidad por observación en el microscopio.

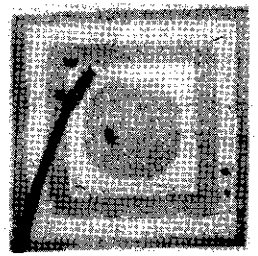


Fig.1 Se observa área del contacto metálico (zonas claras) definida por el proceso fotolitográfico y el área por donde emerge la luz (zona oscura).

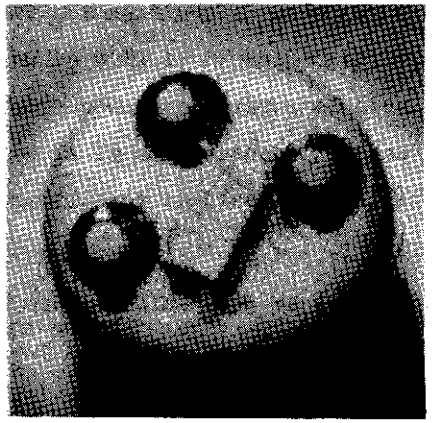
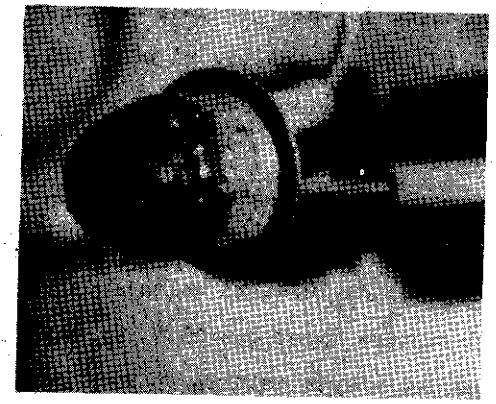
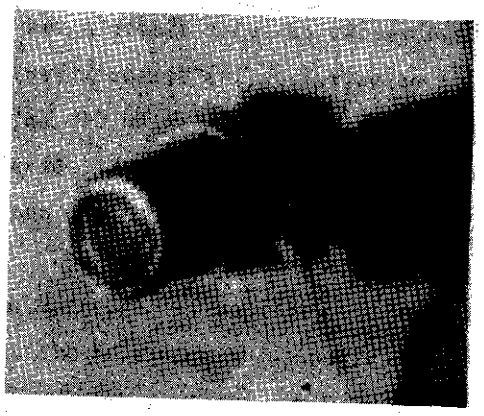


Fig. 2 D.E.L. soldado a TO antes de encapsular. Se aprecian dos D.E.L. soldados y sus contactos respectivos.



(b)



(a)

Fig. 3 Fotos de las lámparas semiconductoras con diferentes encapsulados. (a) Con ventana (b) Con lentilla plástica.

La juntura resultó de 1,2 μm de profundidad, lográndose una buena iluminación del dispositivo a la corriente de trabajo de 20 mA para la cual fueron diseñados.

En estos dispositivos de GaAsP es determinante la profundidad de la juntura (2), ya que al ser el material de banda prohibida directa la autoabsorción limita grandemente la eficiencia de la extracción de la luz.

En la Fig. 4 se presenta una característica I-V típica. Para corriente de trabajo de 20 mA el voltaje es de 1,7 V y la resistencia diferencial de 10Ω. El voltaje de codo es de 1,3 V y el voltaje de ruptura mayor que 15 V. La mayoría de los dispositivos presentan a este voltaje de 15 V menos de 2 μA de corriente inversa. La corriente muestra la dependencia $I = I_0 \exp(-eV/nKT)$ donde $n \approx 2$. Esto indica que las recombinaciones se producen en la zona de carga espacial como se ha encontrado anteriormente en estos dispositivos (3).

La característica espectral de los dispositivos fue determinada presentando el máximo de emisión en 665 nm y un semiancho espectral menor que 20 nm (ver Fig. 5). Esta emisión roja presenta mayor sensibilidad al ojo humano que la de dispositivos de PGa que emiten en 699 nm.

La eficiencia de los dispositivos se determinó antes de encapsular y con los dos tipos de encapsulados utilizados (ver Tabla 2).

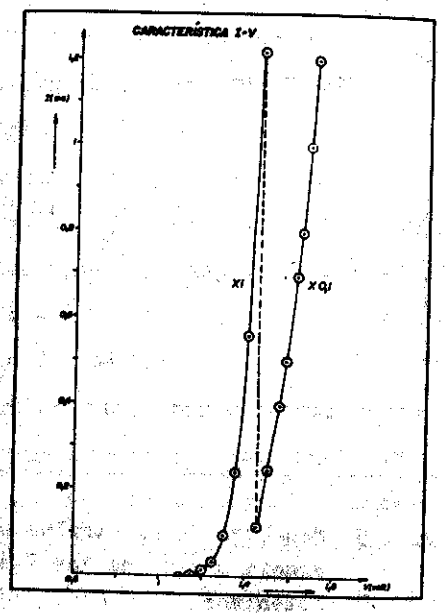


Fig. 4 Característica I-V típica de los D.E.L. obtenidos

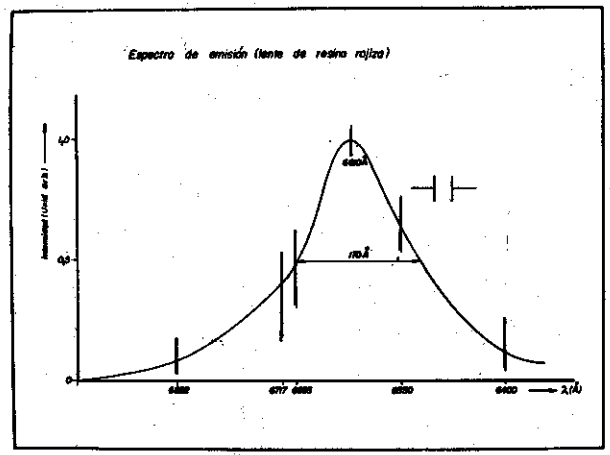


Fig. 5 **Espectro de electroluminiscencia típico de los D.E.L. obtenidos.**

Tabla 2

	Corriente del fotodiodo (μA)	Eficiencia cuántica externa (%)
Sin encapsular	6	0,19
Con ventana	3,4	0,11
Con lentilla	11,8	0,38

Estas eficiencias están acordes con los resultados reportados en la literatura para DEL rojos de $GaAs_{0,6}P_{0,4}$ (4). Como se observa, la eficiencia es casi duplicada por el encapsulado con lentilla. Esto se debe a que el valor del índice de refracción de la resina utilizada es intermedio entre el del $GaAs_{0,6}P_{0,4}$ y del aire, así como a la curvatura de la lentilla que hace que los rayos incidan con ángulos inferiores al crítico minimizando así la reflexión total interna. La ventana limita el ángulo de abertura por absorción y por ello disminuye la eficiencia. Esto puede observarse en la dependencia angular de la distribución de la intensidad luminosa.

En la Fig. 6 se presenta esta distribución angular de la intensidad luminosa para dispositivos sin encapsular y encapsulados con ventana y lentilla. En el caso de la ventana, la limitación del ángulo de abertura implica una pérdida prácticamente total de la luz emitida para ángulos sólidos grandes. Con la lentilla además de extraerse más luz puede controlarse la abertura en que esta se emite de acuerdo a su curvatura y a su distancia del dispositivo. Para lentes menos convexas y cercanas al dispositivo se logra mejorar la visión

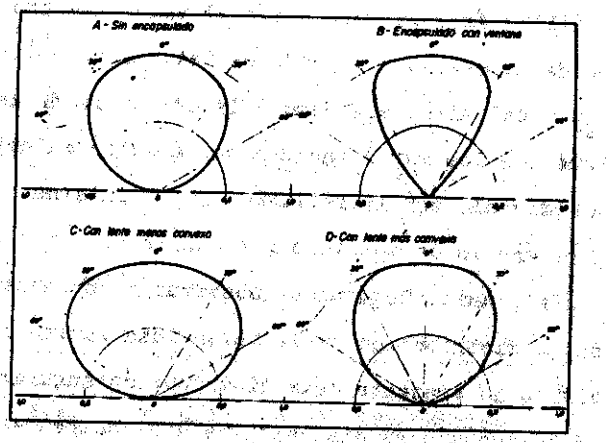


Fig. 6 Distribución angular de la intensidad luminosa determinada para diferentes encapsulados.

lateral del dispositivo y con lentes más convexas y un poco alejadas del dispositivo se logra concentrar la luz hacia el frente, aumentando la intensidad, pero disminuyendo la visibilidad lateral.

El proceso tecnológico, a pesar de sus múltiples pasos, tuvo un rendimiento superior a lo esperado. Prácticamente la totalidad de los dispositivos probados hasta el momento presentan características típicas.

En la actualidad se continúa con las pruebas de confiabilidad de los dispositivos obtenidos. Hasta el momento se ha obtenido que éstos han trabajado durante 380 horas manteniéndose estable la intensidad de la luz emitida tanto a 20 mA, corriente para la cual fueron diseñados, como a 30 mA; en ambos casos en régimen de corriente directa. Aunque los dispositivos pueden trabajar con corriente alterna o en régimen de pulsos, se escogió régimen de corriente directa por ser el más desfavorable, o sea, al que corresponden menores tiempos de vida y menores eficiencias; ya que ésta última es proporcional a la corriente máxima y no al valor promedio en el tiempo (5).

Los DEL obtenidos podrían ser utilizados también, con otro encapsulado, para fabricar dígitos.

CONCLUSIONES

Se ha puesto a punto todo el proceso tecnológico para obtener DEL capaces de ser utilizados como lámparas semiconducto-

ras rojas señalizadoras. Los valores de corriente y voltaje obtenidos, así como de eficiencia cuántica externa, están acordes con las exigencias de dispositivos comerciales fabricados en base a $GaAs_{0,6}P_{0,4}$. El proceso, a pesar de sus varios pasos tuvo un rendimiento muy bueno.

Los DEL obtenidos se han encapsulado para ser utilizados como señalizadores. Se ha utilizado un encapsulado con ventana adecuada para uso como señalizador interno en circuitos complejos y otro con lentilla adecuado para señalizador externo. El ángulo de abertura de la luz emitida en este último caso es controlable por la forma del plástico.

Hasta el momento los dispositivos han mantenido sus características después de 380 horas de trabajo. Estos mismos DEL podrían ser encapsulados para formar dígitos.

BIBLIOGRAFÍA

1 A.A. Bergh y P.J. Dean, Proceedings of the IEEE, Vol. 60, No. 2, p. 156 (1972).

2 H. Reichl, J. Muller y D. Huber, J. Appl. Phys. Vol 49, No. 9, p. 4838 (1978).

3 Y. Ono y K. Kurata, Jap. J. of Appl Phys. Vol 11, No. 1 p. 55 (1972).

4 R.N. Bhargava, IEEE Trans on Electron Devices, Vol ED-22 No. 9, p. 691 (1975)

5 M.G. Craford, IEEE Trans on Electron Devices, Vol ED-24 No. 7, p. 935 (1977).

NOVEDADES

Experimento "Zona", realizado en el vuelo orbital conjunto Cubano-Soviético (Setiembre 1980).

Este experimento consitió en la realización de la Fusión Zonal con Gradiente de Temperatura (FZGT) en 3 monocristales de sacarosa en la dirección cristalográfica (100) a bordo de la estación orbital Saliut 6-Soyuz 37-Soyuz 38, durante 4 días de trabajo de la tripulación internacional.

Mediante la FZGT es posible evaluar una serie de parámetros fundamentales que intervienen en el proceso de cristalización como son los coeficientes de difusión, termoconducción, cinético de cristalización, energías de activación de la cristalización y de difusión, etc., así como los mecanismos cinéticos mediante los cuales transcurre el proceso en el sistema que se investigue.