

# Diodos emisores de luz (LED) con campo cercano largo y estrecho

E.Vigil, C.González Raña, G.González, M.Mestre, I.Cuán y M.E.Pérez Rejo.  
Laboratorio de Investigaciones en Electrónica del Estado Sólido, Facultad de Física Matemática, Universidad de La Habana

## RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de diodos emisores de luz (LED) que presentan un área iluminada larga y estrecha (aproximadamente  $2 \text{ mm} \times 20 \text{ } \mu\text{m}$ ). Esta característica se necesita para determinados usos específicos de estos dispositivos.

Se valora la posibilidad de utilizar LED infrarrojos obtenidos por difusión, cuya tecnología resulta relativamente menos compleja. Con vistas a su utilización, se analiza la adecuación de los valores de eficiencia cuántica externa e intensidad obtenidos. También se estudia la forma y dimensiones de la zona iluminada. Se explica la incidencia del proceso tecnológico en estos parámetros, en específico de la distribución de impurezas difundidas. Esta última se determina a través de la técnica de fotoluminiscencia.

## ABSTRACT

Results obtained in the development of light emitting diodes (LED) with a long and narrow illuminated area ( $2 \text{ mm} \times 20 \text{ } \mu\text{m}$  approximately) are presented. This characteristic is necessary for certain specific applications of these devices.

The possibility of using diffusion obtained infrared LED which technology is less complex is appraised. The fitness for application of the obtained external quantum efficiency and intensity values is analyzed. The shape and dimensions of the illuminated zone is also studied. The influence on these values of the technological process is explained, especially the diffused impurity distribution, which is determined by photoluminescence.

## INTRODUCCIÓN

Para ciertos usos específicos se nos planteó la necesidad de LED que presentarán un campo cercano de aproximadamente  $2,2 \cdot 10^3 \times 20 \text{ } \mu\text{m}^2$  y que acoplarán con el fotodiodo de Si

TIPO  $\phi\text{M} - 9\text{K}177$  de manera que se obtuviera una señal no menor que  $30 \text{ mV}$  en una resistencia de carga de  $10 \text{ K}\Omega$  en régimen de corriente directa.

El objetivo del presente trabajo es analizar la adecuación de LED infrarrojos obtenidos por difusión de Zn en GaAs tipo n para tal fin.

Para ello se realizó un estudio de la intensidad de la luz emitida y eficiencia cuántica externa así como la

regularidad y ancho de la zona iluminada para condiciones distintas de difusión. También se analizaron la distribución de impurezas difundidas y espectros de emisión, lo que ayudó a la interpretación de los resultados.

## II. SELECCIÓN DE LAS CONDICIONES DE DIFUSIÓN

### A. Concentración del sustrato

La concentración del sustrato influye de diversas formas en la intensidad emitida.

1) Se ha demostrado anteriormente (1) que la mayor parte de la luz emerge por la zona n. Como la absorción en esta región disminuye al aumentar la concentración de impurezas (2), resulta conveniente incrementar esta última.

2) Es conocido que las recombinaciones se producen preferiblemente en la parte P (3); mientras mayor sea la concentración de la parte n, mayor será el número de portadores minoritarios en desequilibrio inyectados y consecuentemente mayor el número de recombinaciones.

3) Para mayores concentraciones en la parte n, para juntas difundidas se obtienen mayores concentraciones de impurezas en la parte P lo que debe aumentar el número de recombinaciones.

4) Por otra parte, una mayor concentración de impurezas puede originar también defectos que constituyen centros de recombinación no radiativa. A esto último achacamos el que en un trabajo anterior (4) la emisión resultara inferior para juntas obtenidas a partir de GaAs: Te con una concentración de  $n \approx 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  que con esta misma impureza donara  $n \approx 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ .

5) Otra influencia negativa del aumento de concentración en la parte n, y por lo tanto, en la parte P también es el que, como se conoce, para mayores concentraciones en la parte P aumenta la absorción en es

ta zona (2) y disminuirá, por lo tanto, la cantidad de luz que se extrae por ella.

Por todo lo anteriormente expuesto, se escogieron, con el fin de estudiarlos, dos tipos de sustratos para realizar la difusión: unos con impureza de Te y  $n \approx 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  y otros con Sn como impureza y  $n \approx 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

### B. Tiempo y temperatura de difusión

Es conocido que cuando aumenta el tiempo y la temperatura de difusión se favorece la creación de defectos que constituyen centros de recombinación no radiativos (5), (6).

Para realizar la difusión se escogió la fuente de Zn-Ga (5% de Zn) y la temperatura de  $825^\circ\text{C}$  con la cual, de acuerdo con estudios anteriores (1) se lograba variar la profundidad de la junta desde algunas micras hasta varias decenas en tiempos de difusión que no resultaban mayores que las tres horas (lo que además de no recomendable (5), resultaría tecnológicamente incómodo) ni menores que 50 min. (lo que permite desprestigiar los tiempos iniciales y finales de los transientes y tener por tanto una difusión controlada).

Se construyeron LED's emisores de borde a partir de las muestras difundidas, para ello, después de rebajadas estas, se depositaron contactos de Au-Ge en la parte n y Ag por la parte P. Se clivaron las muestras en dispositivos de aproximadamente  $2 \times 0,5 \text{ mm}$ .

### III. RESULTADOS

#### A. Profundidad de la juntura

Se obtuvieron distintas profundidades con el objetivo de comparar las eficiencias. Si la juntura es poco profunda es de esperarse que influyan los centros de recombinación no radiativa superficiales y si es muy profunda, los tiempos y temperaturas de difusión demasiado grandes ayudan a la formación de

centros de recombinación no radiativa en el volumen. Con los distintos tiempos de difusión varía también el gradiente de impurezas en la juntura, pero esto se ha demostrado por cálculo que no influye grandemente (1).

Las profundidades obtenidas en tres difusiones realizadas se muestran en la tabla 1.

PROFUNDIDAD DE LA JUNTURA		
No. de la difusión	Concentración del sustrato ( $\text{cm}^{-3}$ )	Profundidad de la juntura ( $\mu\text{m}$ )
40	5 - $6 \cdot 10^{17}$ (Te)	5
	1 - $2 \cdot 10^{18}$ (Sn)	3,5
43	5 - $6 \cdot 10^{17}$ (Te)	14
	1 - $2 \cdot 10^{18}$ (Sn)	10
41	5 - $6 \cdot 10^{17}$ (Te)	80
	1 - $2 \cdot 10^{18}$ (Sn)	70

#### B. Distribución de impurezas

La distribución de impurezas se evaluó utilizando la técnica de fotoluminiscencia. Se obtuvo la señal para puntos a distintas distancias de la superficie; para esto se hicieron biseles en las muestras difundidas de aproximadamente  $1^\circ$ . Esta técnica de la concentración promedio en un espesor de aproximadamente una micra.

La concentración de impurezas se determinó de la energía de los fotones del máximo del espectro según datos publicados (7).

De los resultados obtenidos puede decirse que las concentraciones de Zn, de todas las difusiones con GaAs:Sn, en las zonas donde se producen las recombinaciones y donde viaja la luz (zona activa contigua a la juntura), no varía apreciablemente. Para el caso de los sustratos con Te en una zona en la parte P adyacente a la juntura de una micra de espesor la concentración en to-

das las difusiones está entre  $5 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$  y  $1 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$ . Para el caso de los sustratos con Sn, la variación se encuentra entre  $1 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$  y  $1,8 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$ . Por lo tanto, las diferentes eficiencias no deben estar originadas por su absorción diferenciada en las distintas difusiones. Otro tanto ocurre, al comparar las difusiones en GaAs:Te entre sí.

#### C. Regularidad

Para determinar la regularidad de la juntura se observaron a través de microscopio de reflexión con micrómetro ocular bordes clivados en donde la línea de la juntura había sido revelada por ataque químico en una longitud mayor de 5 mm.

En la difusión más profunda D-41 (ver tabla 1), las irregularidades alcanzaban el valor de hasta 2  $\mu\text{m}$ .

En las difusiones D-40 y D-43, las irregularidades eran menores que 1  $\mu\text{m}$ .

#### D. Ancho de la zona iluminada

Se determinó utilizando microfotografía de infrarrojo (ver figura 1), así como directamente adaptando un convertidor de infrarrojo al ocular micrométrico del microscopio.

La cantidad mayor de mediciones pudo realizarse utilizando la segunda técnica que conlleva un mayor error en la medición.

Se observa una tendencia a tener un mayor ancho los LED, obtenidos con GaAs:Sn. Esto se explica por la menor absorción de la parte n.

Se concluyó, teniendo en cuenta el error de la medición, que en general para las distintas muestras el ancho de la zona iluminada es menor que  $10 \mu\text{m}$ .

#### E. Espectros de electroluminiscencia

En la figura 2. se muestra el espectro de emisión de uno de los LEDs. No se encontraron diferencias grandes entre los espectros de LED'S correspondientes a distintas difusiones. En esta misma figura 2 se muestra el espectro de fotoluminiscencia de la zona activa de este diodo. El corrimiento grande hacia las bajas energías del primero respecto al segundo, pone en evidencia una absorción grande de la luz en su trayectoria de salida del LED. Este corrimiento de aproximadamente  $200 \text{ A}^\circ (0,1 \text{ eV})$  se observa tanto en los diodos con sustratos GaAs:Te y GaAs:Sn.

#### F. Intensidad de luz emitida

Para la medición de intensidad se utilizó un fotodiodo de Si de área grande ( $\phi=1 \text{ cm}$ ) en contacto con el borde del LED para recoger prácticamente la totalidad de la luz emitida.

Se compararon las intensidades emitidas por unidad de longitud y para iguales densidades de corriente (ver figuras 3 y 4).

Como se observa de estas figuras 3 y 4 resultan superiores los LED'S contruidos a partir de sustratos dopados con Sn. Esto indica que para GaAs tipo n dopado con Sn la formación de defectos producto de la concentración alta de impurezas y que implican centros de recombinación

no radiativos no llega a contrarrestar el efecto práctico de la mayor inyección, mayor número de recombinaciones y menor absorción de la parte n.

La difusión D-43 resultó mejor que las D-40 y D-41, como se puede ver al comparar las figuras 3 y 4.

La difusión D-40 no se muestra pero resultó algo inferior a la D-41.

Para los LED'S de la difusión D-43: 4-13, 4,15 y 4-17 obtenidos utilizando sustratos dopados con Sn se determinó el voltaje obtenido en una resistencia de  $10 \text{ K } \Omega$  en serie con el fotodiodo  $\phi\text{D-9K177}$  en régimen de corriente directa. Los resultados se muestran en la figura 5. De estas mediciones se concluyó que todos los LEDs cuya emisión sea tal que la fotocorriente obtenida en el diodo de Si de medición supere los  $3 \mu\text{A}$ , cumplen el requisito de intensidad necesaria planteadas en la introducción.

#### G. Eficiencia

Para comparar las eficiencias de los distintos dispositivos, se calculó la eficiencia por un solo borde para dispositivos de área y ancho unitario, lo que implica multiplicar la eficiencia del LED por su ancho. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 6 y 7.

Se observa también que en este caso el GaAs:Sn resultó mejor sustrato que el GaAs:Te. Se observa que los máximos en el caso del GaAs:Sn se obtienen a menores densidades de corriente. O sea, cerca de cero la eficiencia varía más rápidamente con la intensidad de la corriente en los dispositivos fabricados en sustratos de GaAs:Sn, comportamiento que puede explicarse por una menor presencia de centros de recombinación no radiativa.

Se observa en todos los dispositivos una disminución de la eficiencia para las densidades de corriente mayores. Esto se debe al calentamiento de los dispositivos lo cual se comprobó haciendo mediciones en régimen de pulso para permitir al LED enfriarse en el tiempo entre pulsos. Se utilizó hasta  $J=10 \text{ A/cm}^2$  sin que se llegara al máximo de eficiencia.

## IV. CONCLUSIONES

Se han obtenido LED con las características de dimensiones de la zona iluminada e intensidad emitida adecuadas a las necesidades planteadas.

Los sustratos de GaAs:Sn con  $n \approx 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  resultan superiores a los GaAs:Te con  $n \approx 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  para fabricar estos dispositivos.

Con profundidades del orden de las  $10 \mu\text{m}$  se obtuvieron los mejores resultados. Esto se explica por la presencia de centros de recombinación no radiativa. Dado que la creación de estos se favorece con el tiempo de difusión, se recomienda profundidades del orden de las  $10 \mu\text{m}$  para estos dispositivos.

Figura 1. Microfotografía de infrarrojo de la zona iluminada de uno de los LED's obtenidos (Aumento 100 X).

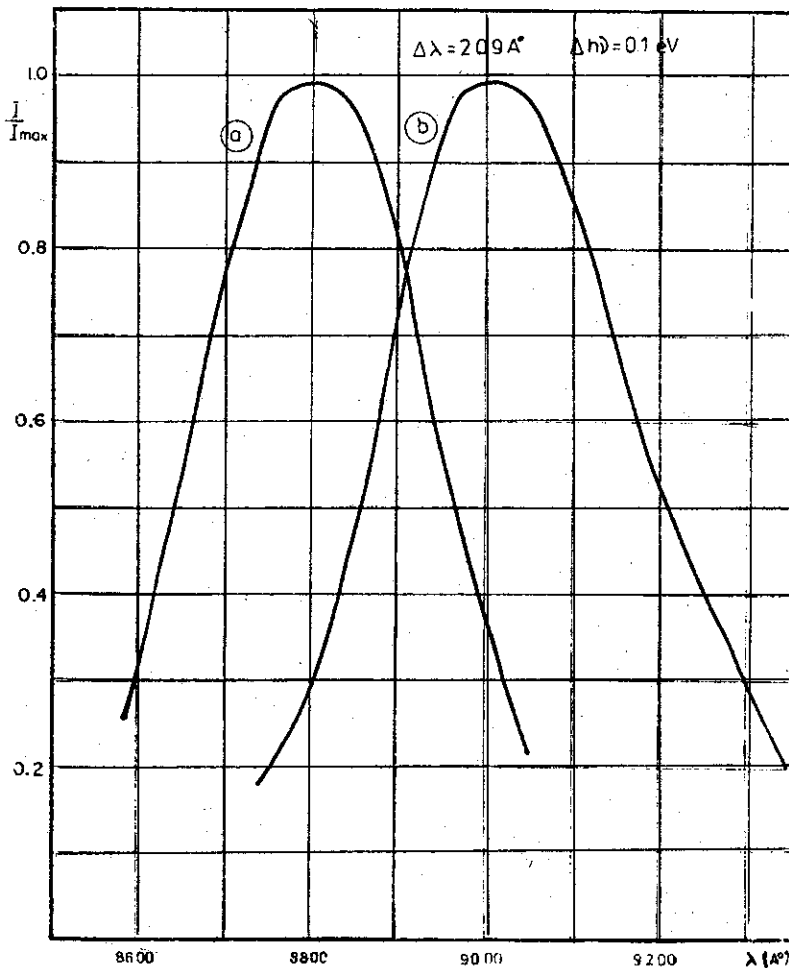
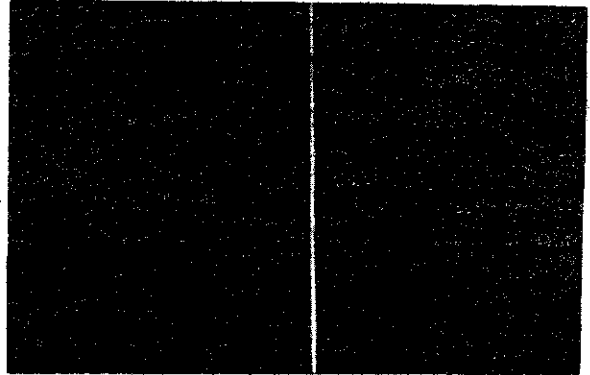


Figura 2.

Espectro de fotoluminiscencia de la zona activa (a) para la difusión D-43 con sustrato de Sn. Espectro de electroluminiscencia (b) de un LED obtenido de la difusión D-43 con sustrato de Sn.

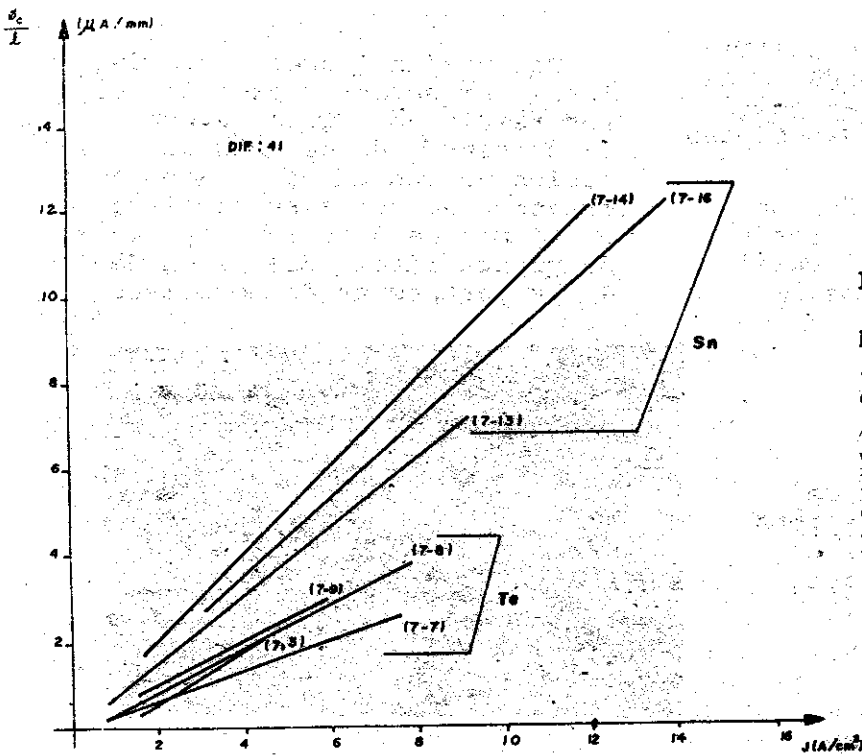


Figura 3.

Dependencia de la intensidad de la radiación emitida por unidad de longitud contra densidad de corriente para la Dif. 41 y LED's obtenidos de los sustratos con Sn y Te como se indica.

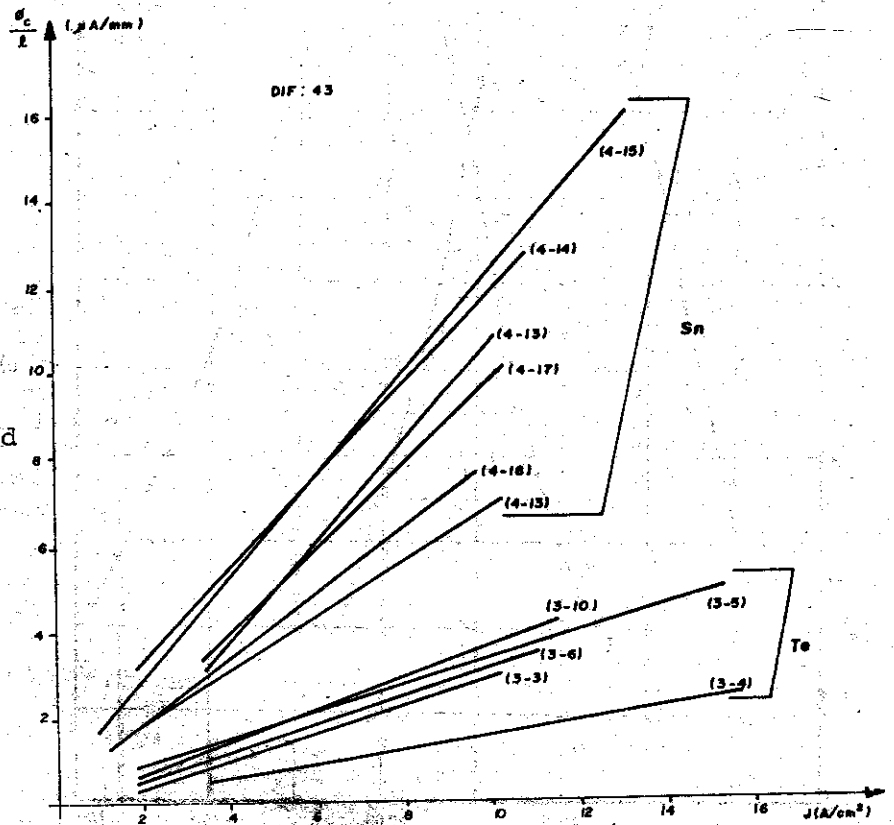


Figura 4.

Dependencia de la intensidad de la radiación emitida por unidad de longitud contra densidad de corriente para Dif. 43 y LED's obtenidos de los sustratos con Sn y Te como se indica.

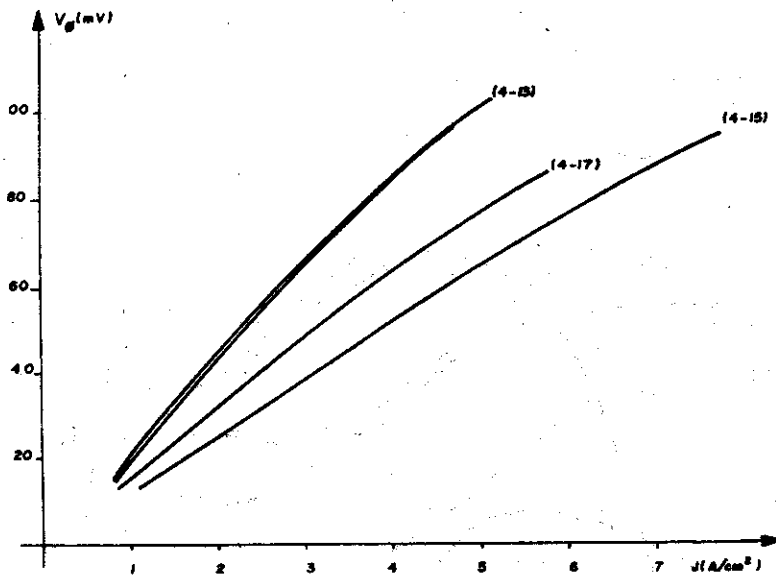


Figura 5. Voltaje obtenido en una resistencia de  $10\text{ k}\Omega$  conectada en serie con un fotodiodo FD-9k177 cuando sobre él incide la radiación proveniente de los LED's señalados que trabajan en régimen de CD con las densidades de corrientes dadas.

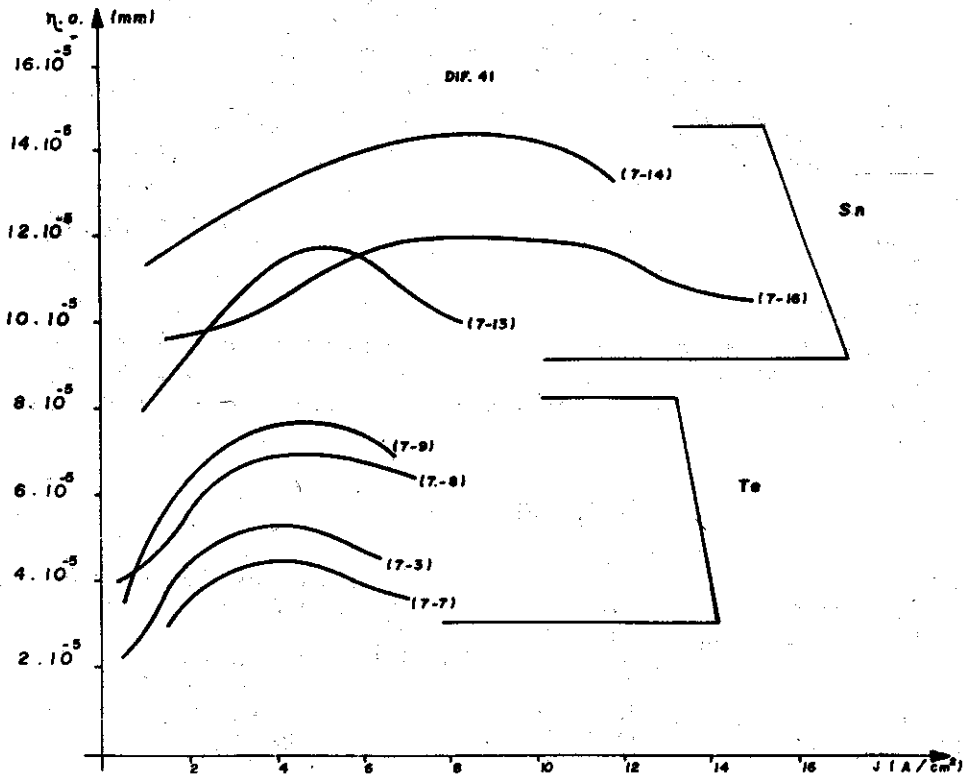


Figura 6. Dependencia de la eficiencia normalizada por unidad de área y longitud contra densidad de corriente para la Dif. 41 y LED's obtenidos de los sustratos -con Sn v Te como se indica.

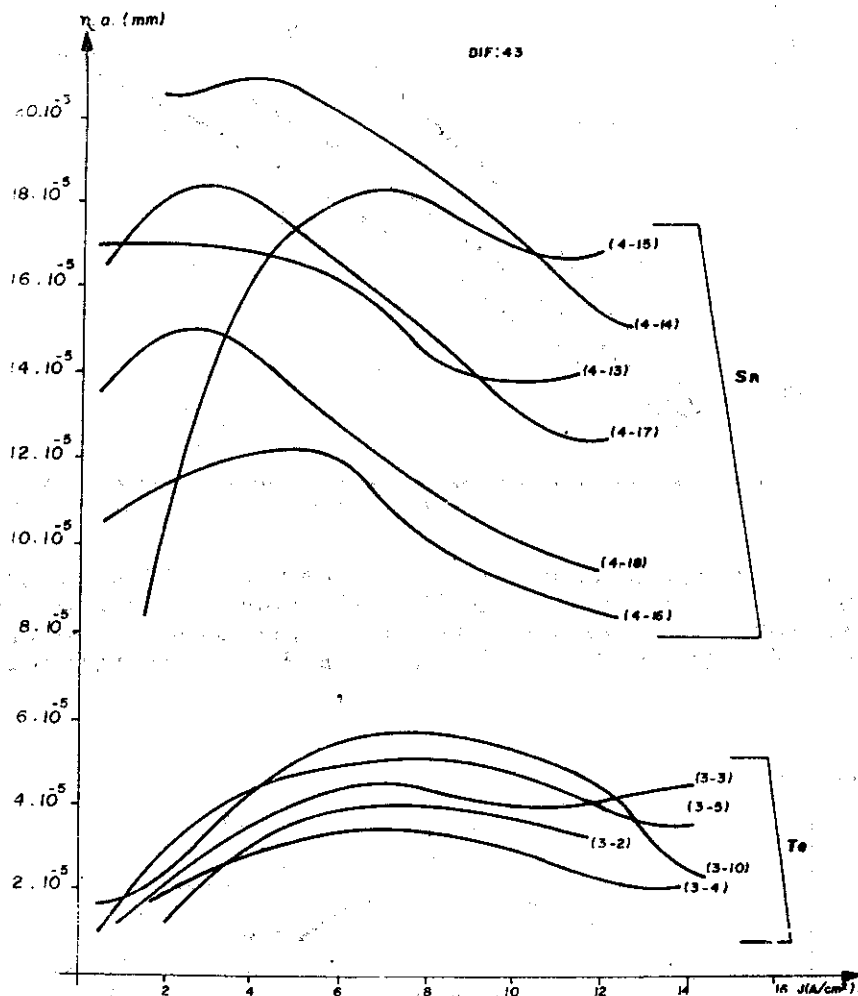


Figura 7. Dependencia de la eficiencia normalizada por unidad de área y longitud contra densidad de corriente para la Dif. 43 y LED's obtenidos de los sustratos con Sn y Te como se indican.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Vigil, E.  
Tesis de candidato a doctor, Universidad de La Habana, noviembre de 1983.
2. Casey, H.C.; D.D.Sell; K.W.Wecht;  
J.Appl. Phys; 46, 350 (1975).
3. Carr, W.N.; J.R.Biard;  
J.Appl. Phys. 35,  
277 c. (1964).
4. Soltura, R.  
Tesis de Diploma, Universidad de La Habana, julio de 1983.
5. Marinace, J.C.  
J. of the Electrochemical Society, 110, 1153, (1963).
6. Herzog, A.H.; D.L.Keune y M.G. Craford  
J. Appl.Phys. 43, 600, (1972).
7. Ettenberg, M.; C.J.Nuese  
J. Appl.Phys, 46, 3500 (1975).

Recibido: 11 de abril de 1984.