

Obtención y estudio de láseres semiconductores de GaAs (AlGaAs) con confinamiento separado (CS) de electrones y fotones

Pedro Díaz Arencibia, Tatiana A. Prutskij, María Sánchez Colina, Laboratorio de Investigaciones en Electrónica del Estado Sólido (LIEES). Facultad de Física, Universidad de La Habana

Valerii Romanovich Larionov, Laboratorio de Fenómenos de Contacto en Semiconductores. IFT-Leningrado, Academia de Ciencias de la URSS

RESUMEN

Se analizan las características de láseres semiconductores de GaAs-AlGaAs (CS) obtenidos por el método epitaxial de la fase líquida (EFL) en régimen de temperatura de 625°C. Se comparan las características de diodos láseres clivados por cuatro lados de contacto en toda el área (contacto ancho) con diodos con contactos en forma de franjas (*stripe*).

Se reportan los datos de corrientes de umbral para ambos tipos de diodos. También fueron estudiadas las características I-V, I-W y espectros de emisión de los láseres.

ABSTRACT

In this paper we analyze the characteristics of GaAs-AlGaAs (SCH) lasers obtained by LPE at 625°C.

The properties of four - faces cleaved laser diodes with broad - are contact (wide contact) with those with stripe geometric contacts are compared.

Data of the threshold density current for both type of diode lasers is reported. The I-V as well as I-W characteristics and the emission spectra of the diodes were also studied.

INTRODUCCIÓN

Una de las ideas en el afán de disminuir la densidad de corriente de umbral J_u en los láseres semiconductores ha sido la creación de estos dispositivos con confinamiento separado de electrones y fotones en los láseres de doble heterojunturas de GaAs (AlGaAs). [1.2]. Los parámetros más factibles de controlar con este fin son: la discontinuidad del índice de refracción de las capas colindantes con la zona activa y el espesor de esta última.

Un análisis teórico [2] apunta que la ventaja de este tipo de láseres en cuanto a la disminución de la densidad de corriente de umbral en comparación con los láseres de doble heterojuntura aparece cuando el espesor de la zona activa es menor de $0,12 \mu\text{m}$, la cual deberá seguir disminuyendo con la reducción ulterior del espesor de la capa activa.

Alferov y colaboradores [3] han demostrado experimentalmente que a partir del método epitaxial de la fase líquida no sólo es posible la obtención de capas submicrónicas, sino también reportan corrientes de umbral mínimas de 230 A/cm^2 para láseres de DH de GaAs-AlGaAs (CS) con espesores de la zona activa del orden de $0.02 \mu\text{m}$.

Por otra parte en [4] se había obtenido resultados similares para el InGaAsP/GaAs.

En [5] dimos a conocer nuestros primeros resultados en la elaboración y estudio de láseres semiconductores sobre la base de DH de GaAs - AlGaAs con y sin confinamiento separado. El presente trabajo constituye la continuación de estos estudios.

Un paso razonable en nuestro caso lo constituye el crecimiento a temperaturas de 625°C utilizando la tecnología de epitaxia de la fase líquida en botes de pistón, lo cual garantiza espesores de la zona activa de $0.1 - 0.3 \mu\text{m}$, mientras los espesores de las capas de transición son del orden de $0.02 - 0.03 \mu\text{m}$ [3].

II. OBTENCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

- i. Las heteroestructuras se crecieron sobre sustratos de nGaAs dopados con Te a un nivel de $N_d = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y orientados en la dirección (100). Inmediatamente se ha crecido una capa buffer de n-GaAs (Te), $N_d = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ de $10 \mu\text{m}$ de espesor.

En la figura 1 se muestra la heteroestructura.

La región activa de GaAs no dopada y los emisores colindantes de $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x = 0.25$) fueron crecidos a una temperatura de alrededor de 625°C en un intervalo de 1°C , la velocidad de enfriamiento fue en este intervalo de $0.6^\circ/\text{min}$. Esto permite alcanzar espesores submicrónicos de la zona activa, debido a la disminución de la solubilidad del GaAs en un fundido. [6]

Los espesores (ver figura 1.b) de las heteroestructuras fueron determinadas en un microscopio óptico NEOPHOT - 2, por medio de las diferentes coloraciones de cada capa producidas por la oxidación anódica de uno de los bordes de la estructura.

Las capas n y p - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x = 0.4$) fueron dopadas con Te y Mg respectivamente.

Sobre la capa de contacto p-GaAs se creció una de AlAs la cual posteriormente se atacó en HCl para obtener una superficie especular de la heteroestructura.

ii. Para caracterizar la estructura se prepararon diodos clivados por los cuatro bordes que a continuación le llamaremos diodos de prueba. En estos, el sustrato se rebajó mediante un ataque químico - dinámico ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HN}_3\text{OH}$; 6:1) con una velocidad de ataque de $8 \mu\text{m}/\text{min}$ hasta un espesor de alrededor de $100 \mu\text{m}$ de toda la estructura.

Se depositaron contactos de oro-níquel químicamente por ambas caras y se sometieron a un revenido de 450°C en atmósfera de H_2 .

Con el fin de obtener bajas corrientes de trabajo se prepararon también diodos láser con un contacto sobre la capa p-GaAs en forma de franja ("stripe") de $10 \mu\text{m}$ de ancho figura 1.b. Para ello se depositó una capa de nitruro de silicio de 800 \AA de espesor y fotolitográficamente se abrieron las franjas. Sobre esta superficie se depositó un contacto de Ti-Pd-Ag. El sustrato se rebajó hasta $100 \mu\text{m}$ y sobre el mismo se depositó químicamente un contacto de Au-Ni. La estructura se sometió a un revenido de 620°C en atmósfera de H_2 .

III. CARACTERIZACIÓN DE LOS DIODOS

Las dimensiones de los diodos de prueba fueron aproximadamente de $0.6 \times 0.3 \times 0.1 \text{ mm}^3$ y el largo de las franjas de los diodos tipo ("stripe") osciló entre $0.4 - 0.7 \text{ mm}$.

En la fotografía (1) se puede observar la emisión de una matriz de diodos stripe alimentados con pulsos de corriente.

Las características I-V de ambos tipos de diodos arrojaron valores de 1.1 V a 1 mA polarizados en directa y voltajes de ruptura en inversa mayores que 6 V .

Las características watt-ampéricas se midieron con un fotodiodo de silicio F-D-24K polarizado en inversa a 20V, cuya sensibilidad es de 0,5 A/W a la longitud de onda de radiación 0.8 - 0.9 μm . La señal en voltaje que producía la luz incidente sobre el fotodiodo se sacó de una resistencia de 100 Ω conectada en serie con el fotodiodo y se midió directamente en el osciloscopio.

Estas mediciones fueron realizadas en régimen de impulsos de frecuencia y duración de 500 Hz y 0,1 μs respectivamente.

La corriente de umbral se determinó del gráfico de la característica watt-ampérica extrapolando la zona de la curva con un crecimiento brusco de la intensidad luminosa al eje de las corrientes. Los valores obtenidos de la corriente de umbral en los diodos de prueba oscilan entre 0.4 - 2 KA/cm^2 .

En la figura 2 se muestra la característica watt-ampérica típica de los diodos con contactos en forma de franja. En la tabla No. 1 se presentan los valores de la densidad de corriente de umbral para los diodos de prueba y del tipo "franja" correspondientes a la estructura PR-40.

La densidad de corriente de umbral medida en los diodos de configuración del tipo franja en nuestro caso está en el intervalo de 8 - 18 KA/cm^2 . (Tabla 1).

De los resultados experimentales de la densidad de corriente de umbral de los diodos de prueba se evaluó la densidad de corriente de los diodos del tipo franja J_e mediante la fórmula: [7]

$$n(y) = \left(\frac{I_e \tau_n}{qSLd} \right) \left[1 - \cosh(y/L_n) \exp\left(\frac{-S}{2L_n}\right) \right] + \left(\frac{1}{L_0 + L_n} \right) \left(\frac{I_0 \tau_n}{qLd} \right) \cdot \cosh\left(y/L_n\right) \exp\left(-S/2L_n\right) = \frac{J_{\text{umb}} \tau_n}{q d}$$

Tabla 1. Datos sobre la densidad de corriente de umbral J_u de los diodos de prueba y contactos de tipo franja. Se presentan los mejores valores de cada tipo. También se presenta los valores de la corriente de umbral de los diodos con contactos de franja.

DIODOS DE PRUEBA		DIODOS TIPO FRANJA		
No. Muestra	J_u KA/cm^2	No. Muestra	J_u KA/cm^2	I μ A
K-36	0.41	I-34	13.7	0.36
K-33	0.43	I-37	8.5	0.43
K-25	0.5	I-36	18.4	0.46
K-34	0.54	I-16	11.4	0.48
K-28	0.6	I-33	12.7	0.52
K-24	0.62	I-27	9.7	0.53

esta relaciona la concentración de portadores en la zona de la franja y tiene en cuenta la concentración de estos fuera de la zona de la franja, la cual es igual a la concentración de portadores en los diodos de prueba:

donde $S = 10 \mu\text{m}$ - ancho de la franja

$J_{\text{umb}} = 1 \text{KA}/\text{cm}^2$ - densidad de corriente de umbral del diodo de prueba.

$L = 500 \mu\text{m}$ - largo del diodo

$L_n = 6 \mu\text{m}$ - longitud de difusión de los electrones (este valor fue escogido como el más probable)

$$L_0 = \frac{2L}{\beta \rho_s I_0}$$

$$\frac{1}{\rho_s} = \frac{1}{\rho_4/d_4} + \frac{1}{\rho_6/d_6}$$

$\rho_4 = 0.1 \Omega \text{cm}$, $\rho_6 = 2 \cdot 10^{-2} \Omega \text{cm}$ - resistividades de la capa emisora p-AlGaAs y la capa de contacto p-GaAs respectivamente.

$d_4 = 1 \mu\text{m}$, $d_6 = 2 \mu\text{m}$ - espesores de estas capas respectivamente.

$\beta = \frac{q}{nk_0 T}$; $n = 2$ - factor de perfeccionamiento de la juntura, k_0 - constante de Boltzman, T - temperatura absoluta, q = carga de el electrón. $I_0 = J_e L_0 L$ y $I_e = J_e S L$. J_e = densidad de corriente de umbral que se busca.

Sustituyendo estos valores en la fórmula hemos encontrado un valor de $J_e = 14,5 \text{KA}/\text{cm}^2$, el cual está dentro del rango de los valores obtenidos experimentalmente..

Para bajar la caída de voltaje del diodo correspondiente a la corriente de umbral, los emisores de banda ancha de n-Al_{0,4}Ga_{0,6}As y p-Al_{0,4}Ga_{0,6}As fueron dopados con Te y Mg respectivamente. En los mejores diodos el voltaje alcanzó valores entre 4 - 6 V. No obstante no siempre fue posible alcanzar estos valores. Fue observado un crecimiento mucho más lento y lineal del voltaje con la corriente para valores de esta, superiores a la corriente de umbral. De la pendiente de esta curva se puede evaluar la resistencia en serie del dispositivo. Valores de 1.5 - 2 - Ohm fueron obtenidos.

Otro parámetro estudiado en los diodos de tipo franja fue la eficiencia cuántica diferencial.

Se tuvo en cuenta la radiación que emana por ambas caras (espejos) los mejores valores de η_D llegaron a 0,6 - 0,7. La potencia pico promedio de

los láseres a una densidad de corriente igual a 1,2 I umbral fue de: algunas decenas de mW.

En la figura 3 se presentan las características espectrales de uno de los diodos con franja. El máximo de la emisión espontánea está en $\lambda_{\text{max}} = 8740 \text{ \AA}$. (fig. 3 a)

Para corrientes superiores de la corriente de umbral aparece un pico a la longitud de onda de 8735 \AA . Sobre el espectro de emisión espontánea (figura 3 b).

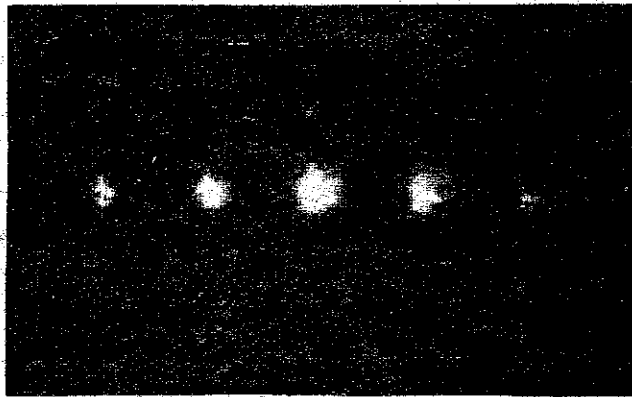
CONCLUSIONES

Hemos presentado la obtención y estudio de láseres semiconductores de GaAs (AlGaAs) (CS) con densidad de corrientes de umbral por debajo de 1 KA/cm^2 utilizando el método epitaxial de la fase líquida en el rango de temperaturas de 625°C .

La posibilidad de esta tecnología en la obtención de dispositivos con menores densidades de corriente umbral estriba en seguir bajando los regímenes térmicos de los procesos de crecimiento entre $500 - 550^\circ\text{C}$.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a J. Vilahomat y N. Safronova por la deposición de SiN_3 y los contactos de (Ti-Pd-Pt). A Aldo Fuentes y Jesús Borrego por su participación en las mediciones de las características de las muestras.



Fotografía 1.

Microfotografía infrarroja de una matriz de diodos con contacto tipo franja.

La estructura fue sometida a pulsos de corrientes de 2A con una frecuencia de 500 Hz y duración de los pulsos de $0,1 \mu\text{s}$.

▲ E₀

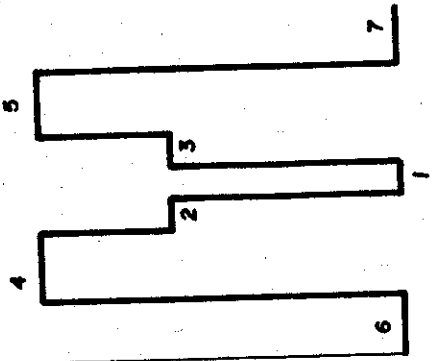
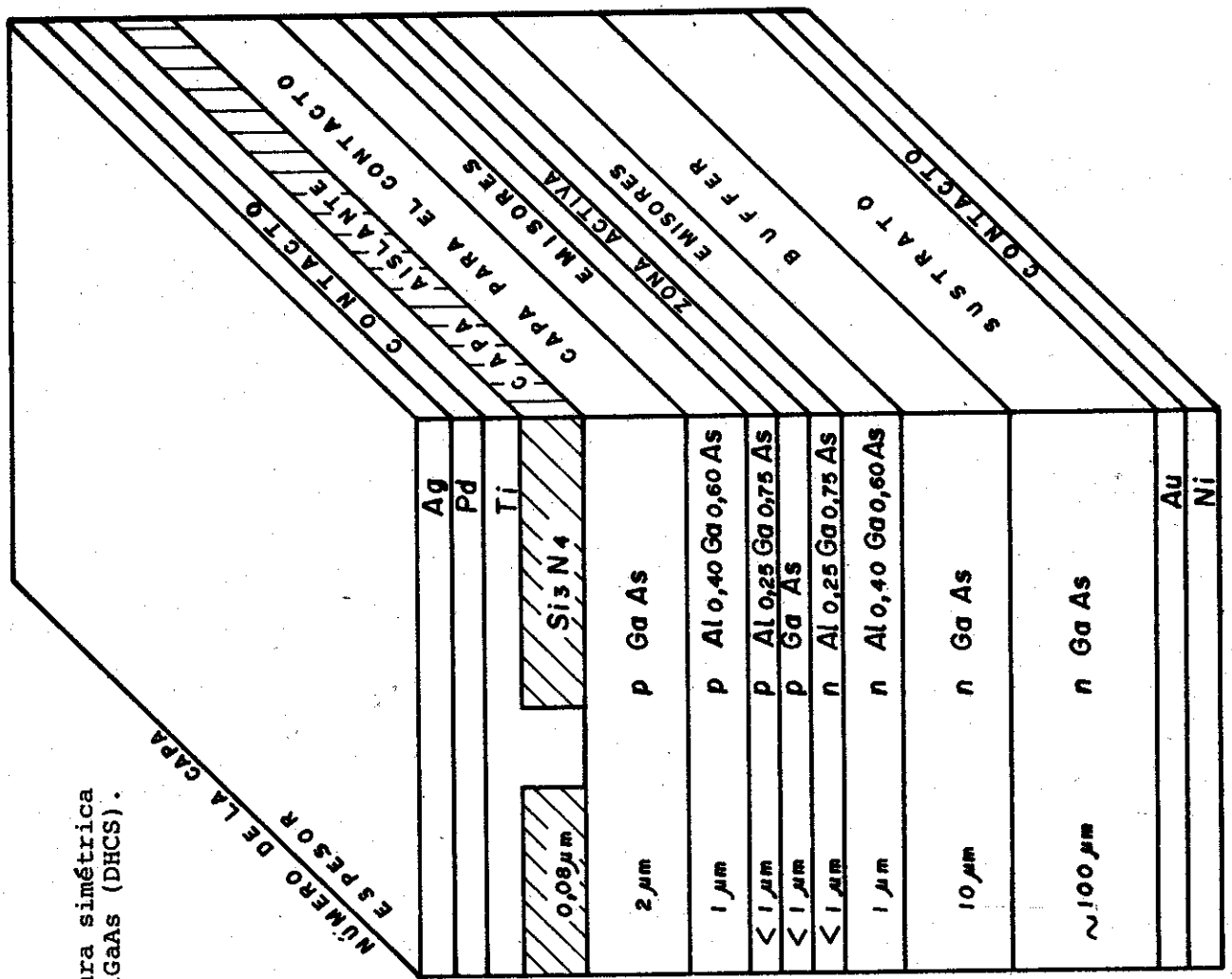


Figura 1.
Esquema de la estructura simétrica de los láseres GaAs-AlGaAs (DHCS).



NUMERO DE LA CAPA
ESPESOR

	Ag		
	Pd		
	Ti		
	Si ₃ N ₄		
	0,08 μm		
6	p Ga As	2 μm	
4	p Al _{0,40} Ga _{0,60} As	1 μm	
2	p Al _{0,25} Ga _{0,75} As	< 1 μm	
1	p Ga As	< 1 μm	
3	n Al _{0,25} Ga _{0,75} As	< 1 μm	
5	n Al _{0,40} Ga _{0,60} As	1 μm	
7	n Ga As	10 μm	
	n Ga As	~ 100 μm	
	Au		
	Ni		

FIG. 1a.

Perfil de la banda prohibida de la heteroestructura de siete capas crecidas sobre el sustrato de GaAs - tipo n.

Láser con contacto tipo franja. La capa de nitruro de silicio Si₃N₄ aísla toda la superficie, excepto en la zona de la franja stripe. El ancho de la franja es de 10 μm y el largo osciló entre 400 y 700 μm.

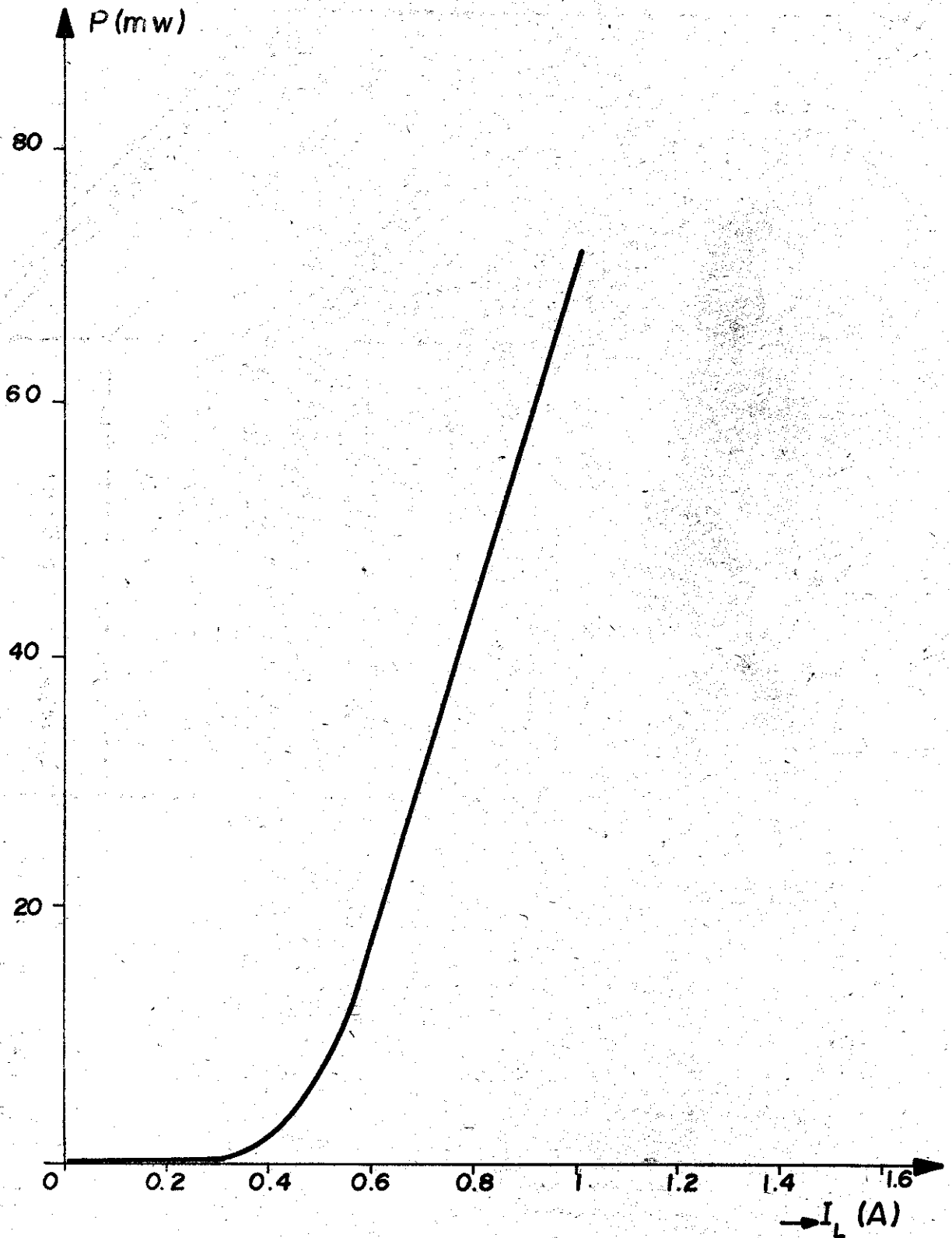


Figura 2. Característica watt-ampérica típica de los diodos con contacto tipo franja (*stripe*). Las mediciones se hicieron con pulsos de corriente de frecuencia y duración de 500 Hz y 0.1 μ s respectivamente.

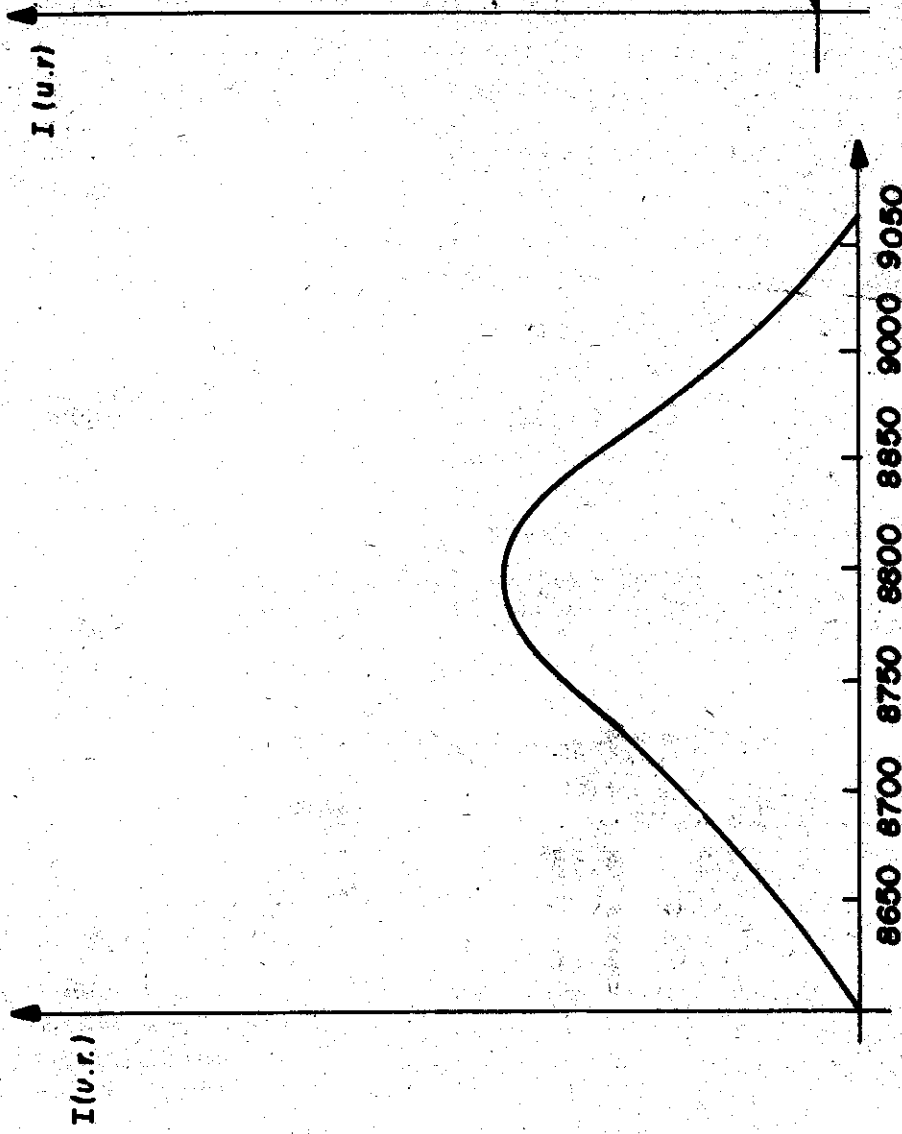


Figura 3.
Espectros de emisión de los diodos
con contacto del tipo franja.

a.
Espectro de emisión espontánea.

b.
Línea láser sobre el declive del
espectro de emisión espontánea
para corrientes de umbral y supe-
riores.
La corriente de umbral determinada
por los espectros de emisión coin-
cide con los obtenidos por la
característica watt - ampérica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Casey, H. C. Jr. and M.B. Panish
Heterostructure Lasers. Part. B. Cap. 7. pag. 201. Acad. Press 1978.
2. Thompson, G.H.B
Physics of Semiconductor Laser Devices. Cap. 5. pag. 263. John Wiley & Sons. 1980.
3. Alferov Zh. I., V.M. Andreev; A.A.Vodnev; O.O. Iventeva; V.R. Larionov and V.D.Rumiantsev.
Fizika. i Tejnika. Poloprovodnikov Tom. 20, No. 2 (1986), pag. 381.
4. Garbuzov, D.Z.; I.N.Arsentev; L.S.Vavilova; A.V.Tikunov and E.V.Tulashvili
Fizika i Tejnika Poloprodnikov. Tom 19, No.1 (1985) pag. 136.
5. Díaz, P.; T. Prutskij y M.Sánchez
Revista Cubana de Física. Vol. 6, No.2. (1986).
6. Andreev, V.M., O.O. Iventeva, S.G.Konnikov, K.Yu, Progrebitzkii, E.Purón O.V.Sulima y Fadeev NN.
Epitaxia de la fase líquida de heteroestructura de AlGaAs con capas sub-micrónicas ($10^{-1} - 10^{-2}$) μm (enviado a publicar).
7. Ibid 1 . pág. 220

Recibido: 22 de enero de 1987.