

## CONTROL ÓPTICO DE DISPOSITIVOS MICROONDAS

*M. Lomer\**, *César Navarro\*\**, *A. Mediavilla\*\**, *J.M. López Higuera\**, *J.L. García\*\**  
*\*Grupo de Ingeniería Fotónica, \*\*Grupo de Microondas. E.T.S.I.I. Telecomunicación*  
*Universidad de Cantabria. Avda. Los Castros s/n 39005 Santander*  
*Tfno. 942-201495 Fax 942-201873 E-mail: lomer@eisa.unican.es*  
*Tfno. 942-201391 Fax 942-201488 E-mail: microw@dicom.unican.es*

### ABSTRACT.

The distinct advantages of optical transmission systems and the increasing use of microwave frequencies within general communication systems, coupled with the ability to integrate microwave and optical components onto a single slice of GaAs have stimulated considerable interest in the development of microwave optoelectronic systems. The optical circuits are advantageous because they can be integrated into the microwave circuits without interfering with them, they have low losses and small dimensions, short reaction time and wide band. This papers present the DC characteristics of a MESFET under different conditions of illumination and different resistances in the gate terminal.

### 1. INTRODUCCIÓN.

En los años 80 se ha avanzado en la fabricación de circuitos monolíticos de microondas, que han permitido realizar una variedad de circuitos y sistemas de microondas. De otro lado, se ha avanzado de igual forma en los dispositivos optoelectrónicos, tales como los diodos LEDs, diodos láseres y fotodetectores. Estos dos sectores han avanzado de manera independiente. Sin embargo estas dos tecnologías utilizan el mismo material, es decir el arseniuro de galio y otros compuestos de las columnas III-V, por lo que son compatibles. Esta nueva tecnología presenta importantes ventajas: i) no se requiere circuitería electrónica adicional para procesar la señal de control, ni se introducen parásitos que limiten la velocidad de respuesta del sistema, ii) existe un gran aislamiento entre las señales procesadas y la señal de control iii) la señal de control óptica es inmune a las perturbaciones electromagnéticas y iv) el control óptico introduce una puerta adicional de control del circuito microondas, pudiéndose realizar nuevas funciones o simplificar y mejorar las ya existentes. Entre las acciones de control que pueden realizarse están las siguientes: conmutación de señales microondas, el control óptico de ganancia en amplificadores microondas, el control óptico de desfases entre señales, la generación óptica de señal a frecuencias microondas o milimétricas y el control óptico de fuentes de señal microondas.

En el presente trabajo presentamos los resultados preliminares del control óptico del transistor MESFET. La iluminación con luz láser se ha realizado con ayuda de una fibra óptica haciéndola incidir sobre los espacios que separan la puerta del surtidor y drenador e incluyendo una resistencia serie en la puerta del transistor.

### 2. EFECTOS DE LA LUZ SOBRE EL MESFET.

El control óptico de dispositivos microondas basados en MESFET ha sido estudiado por numerosos autores [1]-[5]. El principio fundamental de la interacción óptica-microondas puede ser examinada a partir de la iluminación de la superficie del MESFET. En efecto, el MESFET es un dispositivo importante de microondas y se le encuentra en amplificadores, osciladores, mezcladores, etc. Su estructura particular (figura 1) permite iluminar la región transparente que separa el terminal de puerta de los terminales fuente y drenador.

Cuando el MESFET es iluminado, la absorción puede tener lugar cuando los fotones atraviesan el espacio transparente que separa la puerta-drenador y la puerta-fuente. En este caso se produce el efecto de la fotoexcitación de portadores libres (pares electrón-hueco) en la región activa del MESFET. Debido a la propiedad de absorción de los materiales semiconductores, existe una relación de absorción de energía en función de la longitud de onda de iluminación ( $\lambda$ ) dada por:

$$E_{PH} \text{ (eV)} = h \frac{c}{\lambda} = \frac{1,242}{\lambda(\mu\text{m})}$$

donde  $h$  es la constante de Planck y  $c$  la velocidad de la luz.

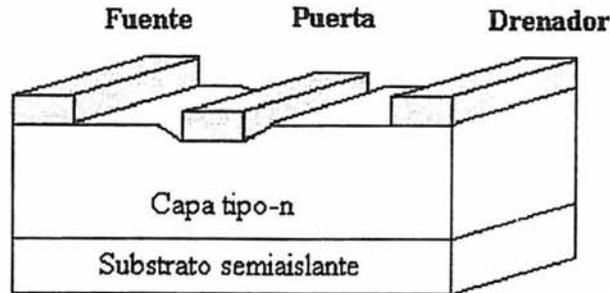


Figura 1: Representación gráfica del MESFET

La región activa del MESFET es un material a base de GaAs donde la energía del gap es de 1,42 eV. La generación de portadores libres por absorción será obtenida para  $\lambda \approx 0,87 \mu\text{m}$ . Esta fuente de luz puede ser obtenida por un diodo láser o un diodo LED.

La iluminación del MESFET produce dos efectos: i) fotoconductorivo y ii) fotovoltaico.

i) En el efecto fotoconductorivo, la absorción de fotones entre la capa tipo-n y en el sustrato semiaislante, genera la producción de pares electrón-huecos, lo que se traduce en un aumento de portadores y, por tanto, un aumento de la conductividad en esas regiones. Así, una corriente fotoconductoriva se añade a la corriente de drenador.

ii) El efecto fotovoltaico tiene dos contribuciones:

a) Efecto fotovoltaico interno: debido a la diferencia de dopaje entre la capa epitaxial tipo-n y el sustrato de semi-aislamiento, existe en su interfase una barrera de potencial al igual que en una unión p-n. Al ser iluminado se absorben fotones en la barrera entre la capa epitaxial y el sustrato, generándose un fotovoltaje que reduce la altura de la barrera de potencial. Esta reducción supone un aumento de la anchura efectiva del canal sobre las zonas iluminadas, lo que se traduce en un aumento de la corriente de drenador.

b) Efecto fotovoltaico externo: La región de depleción que se crea con una polarización inversa en la puerta del transistor, es un área adicional para la absorción de fotones. Al iluminar, esta región actúa de igual manera que un fotodiodo Shottky. Además, los pares generados más allá de la región de depleción (en la capa de tipo-n cerca de la zona de depleción) antes de que se recombinen también se pueden difundir. La difusión de huecos hacia el terminal de puerta, genera una foto-corriente en este terminal,  $I_g$ , negativa y muy pequeña (del orden de  $\mu\text{A}$ ). Sin embargo, su efecto puede hacerse significativo cargando el terminal de puerta con una resistencia externa,  $R_g$ , lo suficientemente grande (del orden de  $\text{M}\Omega$ ). De esta forma, el fotovoltaje inducido al añadir  $R_g$  es equivalente a una polarización directa en la puerta del transistor y se superpone a la polarización inversa existente en régimen de operación normal  $V_{GG}$ . Por tanto,  $V_{GS}$  se desplaza hacia polarizaciones más positivas, la región de depleción se reduce, aumentando la anchura del canal y permitiendo un mayor flujo de corriente entre los terminales de drenador y fuente.

$$(V_{GS})_{\text{iluminado}} = V_{GG} + V_{ph}$$

El valor del fotovoltaje desarrollado,  $V_{ph}$ , depende del punto de polarización del transistor ( $V_{GG}$ ,  $V_{DS}$ ), del potencial de barrera de la interfase entre la zona de depleción y el canal, de la resistencia externa colocada en la puerta  $R_g$  y de la densidad de potencia óptica que incide sobre el transistor.

Por tanto, con la iluminación óptica podemos modificar  $V_{GS}$  y podemos controlar el transistor. En este caso la iluminación actúa como una cuarta puerta de control del dispositivo.

Si la potencia óptica es alta, el fotovoltaje inducido puede llevar al transistor a la zona de polarización directa, llegando a crear un circuito abierto en el terminal de puerta. El transistor se comportaría como un diodo Shottky. Si la potencia óptica incidente no es lo suficientemente elevada, el fotovoltaje inducido no compensará completamente la polarización inversa del terminal de puerta y el transistor seguirá aún polarizado en inversa. El voltaje puerta-fuente es dado, entonces, por:

$$(V_{GS})_{\text{iluminado}} = V_{GG} + I_g \cdot R_g$$

### 3. TRABAJO EXPERIMENTAL

La primera parte del trabajo experimental ha sido la realización de un sistema de iluminación. Este es mostrado en la figura 2. La fuente de luz es un láser He-Ne ( $\lambda=0,8632\mu\text{m}$ ) y la potencia acoplada a la fibra óptica permite disponer de un rango suficiente para excitar el transistor ( $1\mu\text{W} - 100\mu\text{W}$ ). La fibra óptica utilizada es 9/125. Un sistema micrométrico x-y-z ha permitido emplazar la fibra sobre la zona de iluminación útil del transistor.

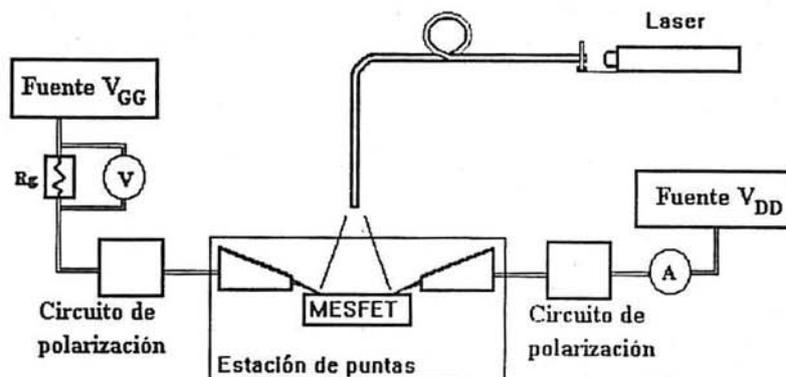


Figura 2: Diagrama de bloques del esquema de medidas.

La segunda parte del trabajo ha consistido en medir la característica I-V, en continua, sobre un transistor MESFET de  $2*100\mu\text{m}$  de ancho de puerta de la tecnología F20 de GEC-Marconi con la estación de puntas "CASCADE MICROTTECH". Se midió la corriente de drenador en función de la tensión drenador-fuente manteniendo constante la iluminación (potencia a la salida de la fibra óptica =  $15\mu\text{W}$  y  $\lambda = 0,6328\mu\text{m}$ ) y tomando como parámetro la resistencia externa colocada en la puerta del transistor  $R_g$ . En los resultados obtenidos (figura 3) se observa la influencia de la iluminación y podemos apreciar como para un valor constante de  $V_{GG}=-1\text{V}$  la corriente de drenador aumenta al aumentar  $R_g$ .

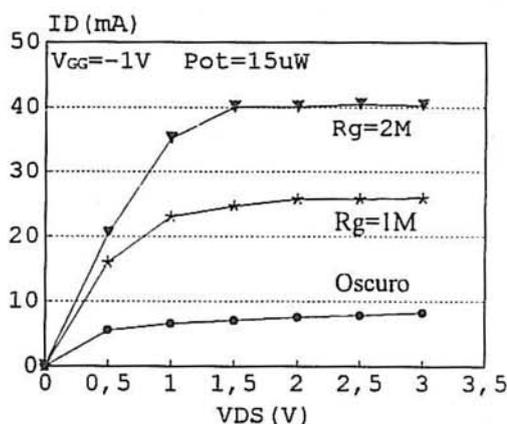


Figura 3: Efecto de la resistencia  $R_g$  sobre la característica  $I_D-V_{DS}$  del transistor iluminado

Se ha comprobado que la iluminación origina una corriente en la puerta del transistor del orden de  $\mu\text{A}$ . Sin iluminación la corriente  $I_g$  es despreciable y la  $R_g$  no afecta a la característica.

En la figura 4 se ha representado la corriente de drenador frente a la tensión de polarización de la puerta del transistor para diferentes potencias ópticas a la salida de la fibra óptica, con una  $R_g=1\text{M}\Omega$ . Observamos como al aumentar la potencia óptica a la salida de la fibra, el desplazamiento que experimenta la tensión de entrada del transistor es cada vez mayor. Análogos resultados se obtienen para todo el rango de polarizaciones  $V_{ds}$ .

En la figura 5 se ha representado el incremento de corriente de drenador frente a la tensión de polarización de puerta del MESFET para distintas potencias ópticas. Inicialmente, el incremento de corriente de drenador aumenta al disminuir la tensión inversa de polarización en la puerta del transistor

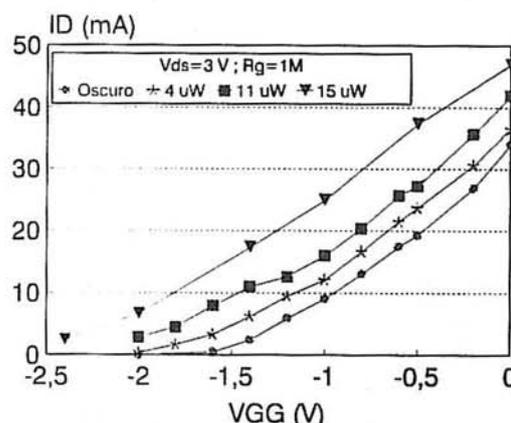


Figura 4: Efecto de la potencia óptica sobre la característica  $I_D-V_{GG}$  del transistor.

( $V_{GG}$  tendiendo a cero), posteriormente se satura para terminar finalmente reduciéndose ligeramente. La explicación de ésta última tendencia se encuentra en el propio efecto fotovoltaico externo. Si la polarización en la puerta del transistor tiende a cero, la zona de deplexión disminuye existiendo menos zona efectiva para la interacción de la radiación luminosa, el número de pares electrón-hueco que se pueden generar disminuye y la fotocorriente  $I_g$  será menor al igual que el fotovoltaje desarrollado.

Por otro lado, si bien en el incremento de corriente de drenador aparece un máximo en torno a un voltaje  $V_{GG} \approx -0.5$  V, su variación relativa respecto a la corriente de drenador del transistor sin iluminación es mayor a medida que nos acercamos al punto de polarización de pinch-off (Figura 6).

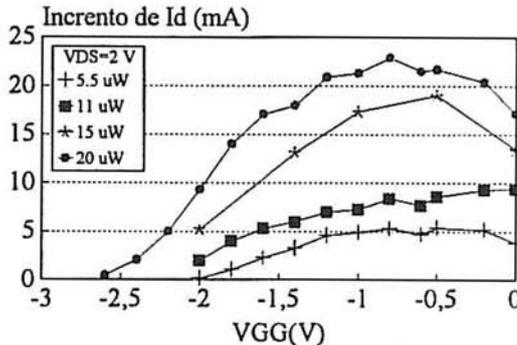


Figura 5: Incremento de  $I_D$  frente a la tensión de puerta en función de la potencia óptica

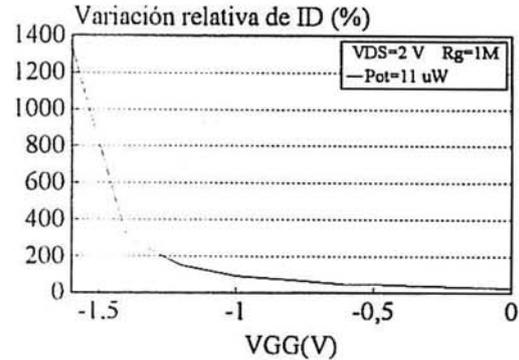


Figura 6: Variación relativa de la corriente de drenador frente a la tensión de polarización del transistor.

#### 4. CONCLUSIÓN

Se ha comprobado experimentalmente que al iluminar un MESFET a diferentes potencias luminosas y colocando una resistencia externa del orden de M $\Omega$  en el terminal de puerta del transistor, la característica I-V en continua sufre un importante desplazamiento respecto a la del transistor sin iluminación. Esta variación se puede controlar externamente modificando la potencia luminosa que emite el láser. Por tanto, se ha verificado la posibilidad del control óptico de los transistores MESFET y la actuación de la iluminación como cuarta puerta de control en los transistores. Se han estudiado las dependencias respecto a diferentes potencias ópticas y distintas resistencias externas para los distintos estados de polarización del transistor. Se ha iluminado con una fuente de 0.6328  $\mu$ m de longitud de onda y se ha mostrado una variación en la característica I-V, pero que esta puede ser más importante para longitudes de onda de 0,8  $\mu$ m., que es la  $\lambda$  de pico de absorción del GaAs, material de la zona activa del MESFET.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] A.A.A. De Salles. "Optical control of GaAs MESFETs". IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-31, pp. 812-820, Oct. 1983.
- [2] J.S. Rossek and C.E. Free. "Optical control of microwave signals using GaAs FET's". Electronics & Communications Engineering J. Febrero 1994.
- [3] R.N. Simons y K.B. Bhasin. "Analysis of optically controlled microwave/millimeter-wave device structures". IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 34, pp. 1346-1355, 1986.
- [4] R.N. Simons. "Microwave performance of an optically controlled AlGaAs/GaAs high electron mobility transistor and GaAs MESFET". IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Diciembre 1987, MTT-35,(12), pp. 1444-1455.
- [5] A. Madjar, P.R. Herczfeld, A. Paoletta. "Analytical model for optically generated currents in GaAs MESFET's". IEEE Trans. on Microwave Theory & Tech., MTT-40, pp. 1681-1691, Agosto- 1992.

\* Los autores del este proyecto quieren hacer constar que el trabajo ha sido realizado dentro del proyecto CICYT.TIC95-0364.