

Interacción Óptica-Microondas: Variación de la característica y Extracción de los parámetros del circuito equivalente del MESFET bajo los efectos de la Iluminación

C.Navarro *, Thierry Lou *, M.Lomer **, A.Mediavilla *, J.M. López Higuera **, J.L. García*
*GRUPO DE MICROONDAS. **GRUPO DE INGENIERÍA FOTÓNICA.
E.T.S.I.I. TELECOMUNICACIONES. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
Avda. LOS CASTROS S/N. 39005 SANTANDER ESPAÑA
Tel. +34 (9)42-201391, FAX. +34 (9)42-201488, E-mail : microw@dicom.unican.es
Tel. +34 (9)42-201495, FAX. +34 (9)42-201402, E-mail : lomer@teisa.unican.es

Abstract:

In this paper we discuss the different effect contributions on MESFET characteristics under illumination. The experimental results confirm the validity of the theoretical predictions. The illumination influence over the small signal equivalent circuit parameters is also analyzed for different optical powers. This interaction give us the possibility of using the optical signals to control the MESFET behaviour.

1. Introducción.

En los últimos años, se ha mostrado gran interés en el estudio y modelado de transistores de efecto campo con puerta Schottky controlados ópticamente (OPFET's). Los OPFET's pueden ser empleados como ventajosos detectores en circuitos optoelectrónicos integrados. Su importancia reside en la posibilidad de utilizar las señales ópticas para controlar o introducir señales directamente en los dispositivos microondas. Como ejemplo de aplicaciones podemos citar el control óptico de osciladores microondas [1], ganancia de amplificadores [2], cambiadores de fase [3] o la generación de señales de microondas y milimétricas [4]. La utilización de la interacción de la óptica y las microondas presenta las siguientes ventajas: a) no se precisa de circuitería electrónica adicional para procesar la señal de control ni se introducen parásitos que limiten la velocidad de respuesta del sistema, b) requiere menos amplificación debido a la ganancia intrínseca de los transistores y tiene menor consumo de potencia, c) la sensibilidad de los transistores a la iluminación óptica, así como su ganancia y no-linealidades permiten realizar en los FET's simultáneamente las funciones de detección, generación de armónicos y mezclado de señales ópticas y de microondas, d) aislamiento de la señal de control (la señal de control óptica es inmune a las perturbaciones electromagnéticas), e) el control óptico añade un puerto extra a los dispositivos microondas, f) se posibilita un mayor grado de integración de circuitos.

En este trabajo se presenta la caracterización del transistor MESFET iluminado con un haz de luz generado con un laser He-Ne. Se ha realizado un análisis de los fotoefectos inducidos y se ha analizado la variación de su característica en DC así como de los parámetros pequeña señal del

circuito equivalente para un amplio rango de potencias ópticas.

2. Efectos de la iluminación en el MESFET.

Al iluminar la superficie de un transistor con un haz de luz con una determinada longitud de onda se produce una importante variación en su característica debido a la absorción de fotones en su interior. Esta absorción en el dispositivo será posible si los fotones poseen una energía igual o superior a la energía del gap de las bandas del semiconductor (GaAs). Por lo tanto, dado que la energía del gap del GaAs es 1.42 eV la mínima longitud de onda de la radiación incidente para que se produzca la absorción ha de ser de 870 nm. Los efectos inducidos por la iluminación son tanto de naturaleza fotoconductiva como fotovoltaica (fig. 1):

2.1.1 Efecto fotoconductivo.

La absorción de fotones en la capa epitaxial tipo-N y en el sustrato de semi-aislamiento provoca la generación de pares electrón-hueco. Estos son separados por el campo eléctrico del canal lo que se traduce en un aumento de portadores y un incremento de la conductividad en esas regiones.

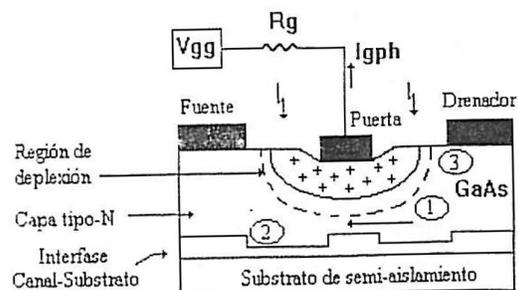


Figura 1.- Efectos inducidos por la iluminación: (1) Fotoconductivo, (2) fotovoltaico interno, (3) fotovoltaico externo.

Por tanto, la iluminación añade una corriente fotoconduktiva a la corriente drenador-fuente.

Esta fotocorriente es función de la iluminación (longitud de onda y potencia luminosa), de la geometría del transistor y de la polarización establecida. La tensión V_{gs} controla la altura del canal, por tanto, con tensiones más próximas a cero voltios el canal está más abierto y existe una zona más amplia para la absorción de fotones.

Por otro lado, como la tensión V_{ds} controla el campo eléctrico longitudinal del canal, la corriente fotoconduktiva posee una fuerte dependencia con V_{ds} en la regimén lineal mientras que se mantiene casi invariante en saturación.

2.1.2 Efecto fotovoltaico.

También existe absorción de fotones en las regiones de depleción del interior del transistor.

Efecto fotovoltaico interno: como el canal y el sustrato poseen diferente dopado se establece en su interfase una barrera de potencial (V_{bar}) que origina una zona de depleción. Cuando fotones son absorbidos en esta región, se generan portadores que son barridos por el campo eléctrico de la unión (electrones hacia el canal y huecos hacia el sustrato). Esta separación de cargas provoca una caída de potencial (V_{ph}) que se opone a la barrera de potencial existente entre ambas capas. De este modo, la iluminación reduce la anchura de esta zona de depleción resultando en una mayor apertura del canal. Este efecto puede ser interpretado como una modulación de la altura del canal, la cual controla la corriente de drenador a través de la transconductancia.

La generación de portadores y el fotovoltaje desarrollado son interdependientes. Mientras que los portadores generados provocan un cambio en la altura de la barrera, esta barrera determina la anchura de la zona de depleción, y por tanto, el número de portadores que pueden ser generados. El máximo fotovoltaje inducido que se puede alcanzar será equivalente al potencial de la barrera de esta unión ($V_{ph-max} = V_{bar}$). Esta relación nos lleva a la posibilidad de maximizar el efecto fotovoltaico interno incrementando el nivel de potencia óptica.

La iluminación reduce la altura de la barrera permitiendo además el flujo de electrones por el sustrato. La corriente por el sustrato es máxima cuando V_{ph} se aproxima a V_{bar} . Si el transistor está polarizado en regimén de operación normal esta corriente es despreciable frente a la corriente que circula por el canal, sin embargo, cerca de la situación de pinch-off se vuelve dominante.

Efecto fotovoltaico externo: la puerta de un MESFET de depleción opera con polarizaciones negativas entre los terminales de puerta y fuente. Entre el contacto de puerta y el canal se establece una unión Schottky, que genera una zona de depleción, la cual controla la corriente del transistor. Esta zona de depleción constituye una zona adicional para la absorción de fotones. Al iluminar, esta región actúa igual que un fotodiodo Schottky. El alto campo eléctrico interno de la puerta Schottky separa los pares electrón-hueco generados aquí por la luz (electrones hacia el canal y huecos hacia la puerta). Además, huecos generados en el canal próximos a esta zona de depleción también se pueden difundir en su interior.

La fotocorriente en la puerta del transistor (I_{gph}) generada por la iluminación es negativa y bastante pequeña (del orden de μA) pero su efecto puede hacerse significativo cargando la puerta del transistor con una alta resistencia serie ($M\Omega$). El fotovoltaje inducido en esta resistencia por esta corriente desplaza la polarización inversa V_{gs} hacia tensiones menos negativas, reduciendo la anchura de esta región de depleción y permitiendo un mayor flujo de corriente de drenador. Si la iluminación es lo suficientemente alta se puede llegar a polarizar esta unión en directa comportándose entonces como un diodo Schottky.

La fotocorriente en la puerta I_{gph} depende de la anchura de la zona de depleción, por tanto, será máxima cuanto más inversamente este polarizada la puerta y mayor sea la tensión V_{ds} . Así mismo, aumentará si se incrementa el nivel de potencia óptica. De la misma manera que en el efecto fotovoltaico interno la saturación de este efecto tiene lugar para altos niveles de iluminación al estar relacionada la zona efectiva para la absorción de fotones y la reducción que este efecto origina en la misma.

3. Resultados experimentales.

El esquema del dispositivo de medida se muestra en la fig.2. El MESFET es medido directamente sobre oblea en la estación de puntas y la iluminación se realiza acoplando el haz de luz de

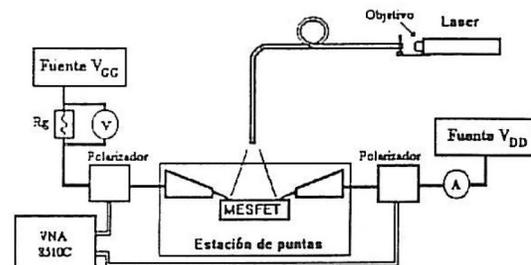


Figura 2: Dispositivo experimental de medida.

un láser He-Ne ($\lambda=632\text{nm.}$) en el interior de una fibra óptica standard ($9/125\ \mu\text{m}$) con ayuda de un objetivo de microscopio.

Primeramente se ha medido la característica I-V en DC de un MESFET (2*150) de GEC Marconi para distintas potencias ópticas sin resistencia serie en la puerta del transistor. En la fig.3 se representa la fotocorriente inducida en el drenador en función de la polarización con una potencia óptica de 1mW a la salida de la fibra. La fotocorriente inducida en el drenador (I_{ph}) por la iluminación exhibe una significativa disminución cuando V_{ds} incrementa más allá del valor requerido para la saturación. Esto puede ser atribuido a que con alto campo eléctrico la movilidad se degrada, y además la zona de deplexión de la unión Schottky se alarga hacia el terminal de drenador disminuyendo el número de fotones absorbidos en la interfase canal-substrato.

I_{ph} incrementa con la tensión V_{gs} desde pinch-off (-1.5 V) hasta un cierto valor y después disminuye a medida que nos acercamos a cero voltios. En la fig.4 podemos observar la variación de la transconductancia, g_m , frente a V_{gs} en regimen lineal y de saturación. Podemos deducir que la respuesta óptica sigue en general la forma de la g_m sobre la mayoría del rango dinámico. Hay unas ligeras desviaciones cuando V_{gs} se aproxima a pinch-off y a cero voltios. La desviación en pinch-off es debida a que el incremento del canal es muy grande frente a la altura del canal, existiendo fotorespuesta incluso más allá de pinch-off, y en las cercanías de cero voltios se puede atribuir a la disminución que sufre g_m debido a los estados superficiales. Esto implica que el principal mecanismo de detección óptica es el incremento de la altura del canal.

En la fig.5 se representa la variación de esta fotocorriente en función de la potencia óptica

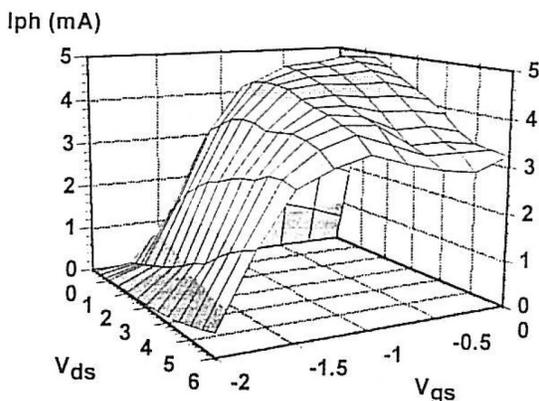


Figura 3: *Fotocorriente de drenador inducida con iluminación de 1 mW. Sin resistencia serie.*

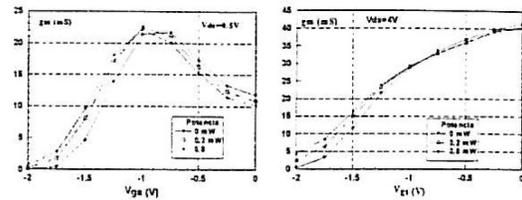


Figura 4: *Variación de la transconductancia en DC con la iluminación.*

para una tensión V_{gs} constante de -1V. Como podemos apreciar la fotocorriente presenta una relación logarítmica frente a la potencia óptica. Se puede observar que la saturación empieza a suceder a relativamente bajos niveles de iluminación. De acuerdo a la evolución con V_{ds} en la zona de operación lineal del transistor la fotocorriente aumenta con V_{ds} , mientras que en saturación evoluciona en sentido contrario.

También se ha analizado la variación en la fotorespuesta del transistor cargando la puerta del MESFET con diversas resistencias. En la fig. 6 se puede apreciar el efecto de amplificación que origina la resistencia serie externa con un bajo nivel de iluminación ($15\ \mu\text{W}$). Podemos apreciar como el efecto fotovoltaico externo provoca una variación mucho mayor que los otros fotoefectos [5]. También se ha comprobado que presenta una evolución logarítmica con la potencia óptica similar a la del efecto fotovoltaico interno y que con una potencia óptica constante la fotocorriente inducida en la puerta disminuye al aumentar la resistencia externa, pero el efecto en la fotocorriente de drenador se amplifica.

Para establecer la respuesta frecuencial del transistor bajo los efectos de la iluminación se midieron los parámetros [S] desde 0.5 a 26.5 GHz para todo el rango de polarizaciones. La medida se realizó sin resistencia externa y a varios niveles de iluminación. A continuación se realizó la extracción

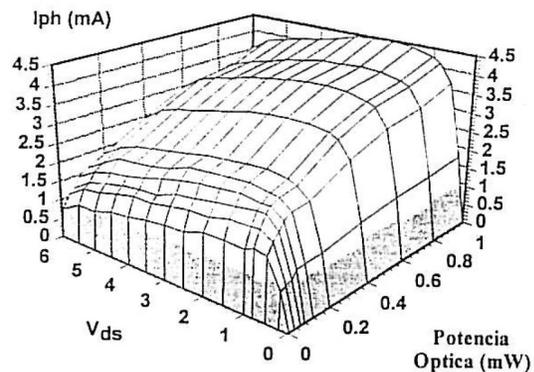


Figura 5: *Evolución de la fotocorriente de drenador frente a la potencia óptica. $V_{gs}=-1\text{V}$.*

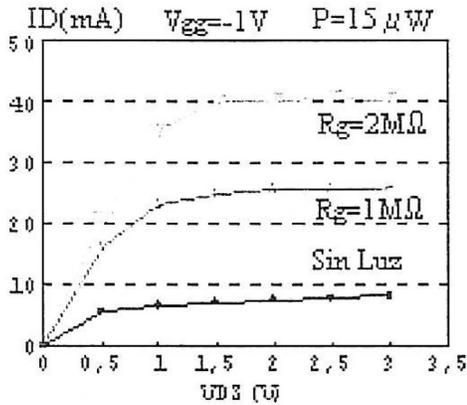


Figura 6: Efecto fotovoltaico externo.

de los parámetros del circuito equivalente. En las gráficas de la fig. 7 podemos observar como la transconductancia y la conductancia de salida aumentan con la iluminación. La variación es más pronunciada cerca de la polarización de pinch-off. La capacidad C_{gs} también sufre un importante incremento, mientras que C_{gd} disminuye solamente cuando el MESFET esta cerca de corte. Además, también se puede apreciar la saturación a valores elevados de la potencia óptica.

4. Conclusiones.

Se ha puesto de manifiesto que al iluminar un transistor MESFET con un haz de luz de una determinada longitud de onda se origina una importante variación en su característica y se ha comprobado que la fotocorriente inducida en el drenador presenta una relación logarítmica frente a la potencia óptica. El comportamiento de los parámetros pequeña señal del circuito equivalente ha de tenerse en cuenta en los futuros modelos circuitales para caracterizar los efectos de la iluminación.

Agradecimientos

Se hace constar que este trabajo es soportado por la CICYT, a través del proyecto: CICYT.TIC 95-0394, a la que los autores muestran su agradecimiento.

Referencias

[1] Callaghan, P. Suresh, S.K. Gomes, N.J. Jastrzebski, A.K. "Optically frequency modulated 6 GHz MMIC oscillator". *Eur. Micro. Con.*, 155-159, 1995.
 [2] Seeds, A. Salles, A.A.A. " Optical Control of Microwave Semiconductor Devices". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol 38, No 5, 577-585, May 1990.
 [3] Bhasin, K.B. Claspy, P.C. Richard, M.A. Romanofsky, R.R. Bendett, M. Gustafson, G. Walters, W. "Control of a GaAs Monolithic Ka-Band Phase Shifter Using a High-Speed Optical

Interconnect". *IEEE Trans. on Microwave Theory and tech.*, vol MTT-38, No 5, 686-688 May 1990.
 [4] Derickson, D.J. Helkey, R.J. Mar, A. Wasserbauer, J.G. Wey, Y.G. Bowers, J.E. "Microwave and Millimeter Wave Generation Using Mode-Locked Semiconductor Lasers with Intra-Waveguide Saturable Absorbers". *IEEE MTT-S*, 753-756, 1992.
 [5] Lomer, M. Navarro, C. Mediavilla, A. López Higuera, J.M. Garcia, J.L. "Control óptico de dispositivos microondas" *URSI Vol-1*, 508-512, 1996.

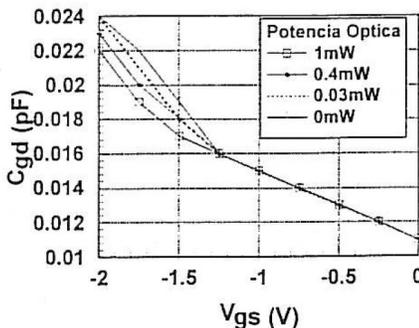
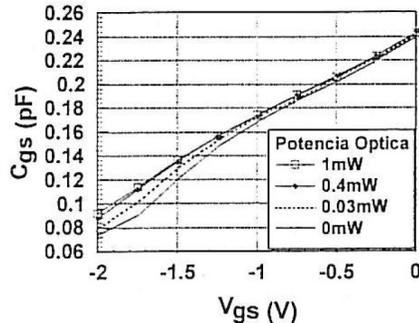
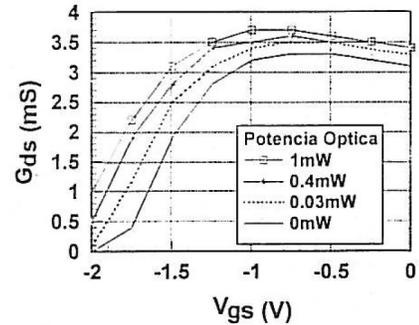
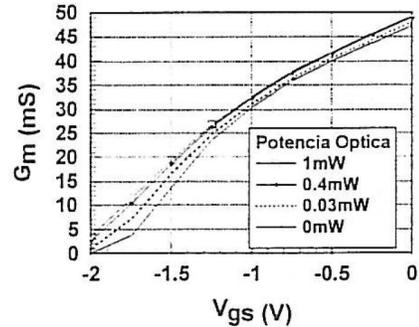


Figura 7: Variación de los parámetros del circuito equivalente con la iluminación. $V_{ds}=5V$