

Efecto de Borde en el Transistor MESFET GaAs Bajo Iluminación Óptica

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

Abstract:

A photovoltaic gate edge effect in planar GaAs MESFET's has been developed whereby a sharp increase in optical gain at the transistor edges occurs, is reported in this document. This optical effect is obtained when the transistor edges are illuminated and enhances the fotosensitivity of these devices when they are used as photodetectors.

1. Introducción.

En los últimos tiempos, el control óptico de dispositivos de microondas, tales como el MESFET, HEMT, HBT, etc., están siendo estudiados con un gran interés dadas sus potenciales aplicaciones [1][2]. El GaAs es un material que tiene propiedades ópticas interesantes. Una de ellas es la absorción, que cuando su superficie es iluminada genera pares electrón-hueco, donde estos nuevos portadores, generados ópticamente, modifican las propiedades del material y estos son responsables de los distintos efectos físicos en los dispositivos. Un interés particular, de ésta interacción, se encuentra en microondas. En efecto, la iluminación de un transistor MESFET en GaAs, hace que éste disponga de un control adicional. Sus aplicaciones inmediatas se encuentran en control óptico de amplificadores, osciladores, mezcladores, modificadores de fase, etc.

Un nuevo efecto encontrado en la iluminación del MESFET en GaAs, es el efecto de borde [3], obtenido con la iluminación de un haz láser en regiones bien localizadas del transistor, efecto que tiene aplicaciones potenciales en varios dominios.

En esta comunicación se presenta los resultados experimentales obtenidos y las posibles aplicaciones del efecto de borde.

2. Efectos de la iluminación en el transistor MESFET en GaAs.

La fotorespuesta del transistor MESFET en GaAs es bastante conocido y es estudiado con mucho interés por los laboratorios. El principio de funcionamiento, en este caso, es la absorción. Se produce cuando el material, de GaAs, es iluminado con un haz cuya energía (en eV) es mayor o igual a la energía de la banda prohibida. La energía del gap para el GaAs es de 1.42 eV. Existe una relación entre la energía del gap y la longitud de onda de los fotones absorbidos, dado por : $E(\text{eV})=1.242/\lambda(\mu\text{m})$. El GaAs, tiene un ancho espectral de absorción que se encuentra entre 0.6 y 0.87 μm , el pico de absorción está alrededor de 0.85 μm . La

profundidad de penetración de los fotones es de aproximadamente 0.35 μm .

El dispositivo experimental utilizado en este trabajo es el mismo que ha sido presentado en un trabajo anterior [4], en el cual se han reportado los resultados del control óptico. La estructura del transistor MESFET es mostrada en la figura 1. Cuando se somete a una radiación óptica, la luz incidente puede penetrar en su interior a través de los espacios existentes entre sus terminales (G-D y G-S). Se produce la fotogeneración de portadores libres, dando lugar a diferentes efectos, que se resumen a continuación.

Efecto fotodiodo

Al iluminar el transistor MESFET, los pares electrón-hueco, creados ópticamente, son separados por el campo eléctrico interno. La separación de las cargas induce una diferencia de potencial que polariza la unión en directo. De esta manera, en la puerta G, se puede medir una fotocorriente con un circuito exterior, así como un fotovoltaje. Este modo de funcionamiento, sin polarización exterior es llamado fotovoltaje. Si se aplica una tensión V_{GS} se obtienen las características clásicas de un fotodiodo.

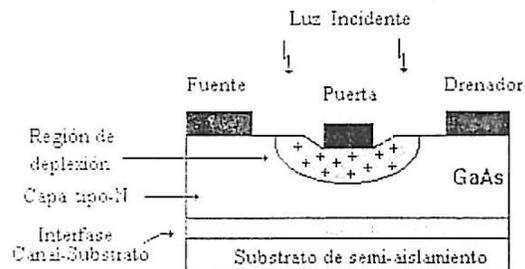


Figura 1: Estructura típica del MESFET.

Efecto fotoconductor

En la iluminación del transistor, los portadores inyectados ópticamente aumentan la conductividad de las zonas de acceso. Cuando el drenador es polarizado positivamente con respecto a la fuente, el campo eléctrico aplicado permite separar los pares electrón-hueco creados por el flujo luminoso. De esto resulta, en régimen permanente, una fotocorriente de drenador, que se agrega a la corriente I_D .

Efecto de Borde

En el efecto fotoconductor, se produce también una fotocorriente de puerta muy pequeña (del orden de μA), pero este efecto puede hacerse significativa si se ubica una resistencia serie R_g de alto valor (del orden de varios $\text{M}\Omega$). El fotovoltaje inducido equivale a una polarización directa de la unión G-S, lo que resulta un potencial V_{GS} débil, produciendo un aumento importante del flujo de corriente I_D . Si ahora se aumenta el valor de R_g , manteniendo constante la potencia óptica, además si, la iluminación del transistor se hace con un haz puntual que recorre toda la superficie del transistor, se observa que la corriente I_D varía en función a la ubicación del haz. Se hace significativa en los bordes. Este nuevo efecto, llamado de borde, se puede explicar por la absorción en la puerta de portadores provenientes de la generación de pares electrón-hueco en la zona de deplexión del sustrato en la superficie exterior del transistor.

3. Resultados experimentales.

El MESFET, utilizado en este trabajo, es de tipo F20 GEC Marconi, tiene una estructura de 2 dedos en U de $125\ \mu\text{m}$ de ancho de puerta y $0.5\ \mu\text{m}$ de longitud. La separación entre puerta-fuente y puerta-drenador son de $2\ \mu\text{m}$. Las puertas son alimentadas con una estructura en mesa positiva. La iluminación es realizada con una fuente láser HeNe de $0,6328\ \mu\text{m}$ de longitud de onda, conectada a una fibra óptica (9/125). La fibra, fue ubicada a $1\ \text{mm}$ sobre la superficie del transistor, entrega un spot de luz de aproximadamente $15\ \mu\text{m}$ de diámetro. En esta posición, se realizó un estudio para establecer la influencia en la fotorespuesta del transistor. Se tomó la medida de I_D y la caída de tensión en R_g , mientras el haz hacía un barrido sobre la superficie del transistor. La polarización ($V_{DS} = 4\ \text{V}$; $V_{GS} = -1\ \text{V}$) y la potencia óptica ($30\ \mu\text{W}$) se mantuvieron constantes durante las medidas.

Con una $R_g = 2\ \text{M}\Omega$, la máxima fotocorriente inducida se encuentra cuando el spot luminoso se encuentra en la zona central del transistor. En la figura 2 se muestra la distribución de I_D en la superficie, se observa que es prácticamente independiente de la posición del spot respecto al transistor.

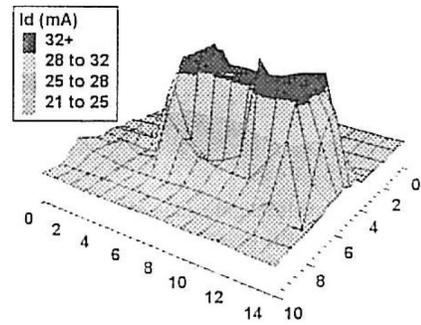


Figura 2: Corriente I_D en función de la posición del spot de luz, con una $R_g = 2\ \text{M}\Omega$ en la puerta del transistor.

Sin embargo, con una $R_g = 5\ \text{M}\Omega$, se puede apreciar claramente un aumento importante de I_D cuando el haz de luz incide en los extremos del transistor (figura 3). Se observa un valle central y los picos en los bordes. En los extremos de los picos, se observan pequeños valles que corresponden cuando el spot luminoso se encuentra entre dos puertas del transistor; por lo que aparecen cuatro máximos correspondiéndose a los cuatro cruces existentes entre el metal de la puerta y los bordes de la capa de GaAs del transistor (figura 4). Una medida de la caída de tensión en R_g muestra el mismo perfil de variación que I_D , lo cual pone en evidencia la inducción de una fotocorriente en la puerta del transistor al iluminar los bordes del transistor.

4. Discusión

El efecto, observado en el párrafo anterior, puede ser debido a la fotocorriente inducida en el sustrato a través de los bordes del transistor que tienen acceso a la puerta, creando una caída de potencial en R_g , que a su vez modula la I_D [3]. Este efecto produce un significativo aumento de I_D , manifestándose en los picos de corriente.

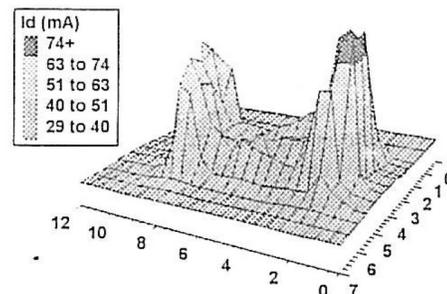


Figura 3: Corriente de drenador en función de la posición del spot de luz, con una resistencia de $5\ \text{M}\Omega$ en serie con la puerta del transistor.

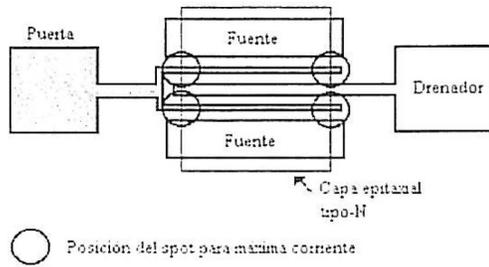


Figura 4: Posición del spot de luz para máxima variación de la corriente I_d . Efecto de borde.

Dado que el metal de la puerta desborda la zona del GaAs por ambos extremos, se establecen dos filas de picos de corriente entre el valle central, con tantos picos en cada fila como dedos posea el transistor. Cada pico tiene correspondencia con la posición del spot luminoso. La separación entre los picos puede ser más importante si la dimensión del spot es más débil, por ejemplo $1 \mu\text{m}$.

Una explicación al efecto de borde, es que éste puede deberse a la generación de pares electrón-hueco en la zona de depleción de las interfaces canal-substrato y en la zona de depleción de la puerta existente fuera del canal. Esto se justifica si ambas zonas se encuentran físicamente conectadas. Todos los huecos generados pueden tener acceso a la puerta al estar fuera del transistor y no ser influenciados por el campo eléctrico existente entre fuente y drenador. Aunque se reduzca la altura de la zona de depleción de la unión Schottky, esta región y la zona de depleción de las interfaces canal-substrato se mantienen conectadas, permitiendo el paso de los portadores a la puerta del transistor.

La variación de la fotocorriente inducida, al aumentar R_g , manteniendo la potencia óptica constante, no se observa el fenómeno de saturación, pero sí una variación muy importante de las características del transistor. No obstante, si el fotovoltaje inducido extingue por completo la zona de depleción de la unión Schottky la fotocorriente no tendrá acceso a la puerta constituyendo esto un límite para este efecto. Además, para un R_g muy alta, se presentaría una situación de virtual circuito abierto en la puerta del transistor, por lo que provocaría que la fotocorriente inducida decrezca.

5. Conclusiones.

Se ha puesto de manifiesto el efecto de borde con un bajo nivel de potencia óptica y una alta R_g en serie con la puerta del transistor. Efecto que se manifiesta una variación importante de las características del MESFET en GaAs.

Aprovechando el efecto de borde, se puede aumentar la fotorespuesta del transistor. Este efecto podría tener aplicaciones potenciales, tales como en sensores de desplazamiento, detectores de rayos X, redes neuronales optoelectrónicas, etc.

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] Madjar, A. "Light Interaction with GaAs MESFET and its Applications - A Review". *Microwave and optical technology letters*, vol 6, No 1, 22-27 (1993).
- [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] Abbott, D. Cui, S. Eshraghian, K. McCabe, E. "Photovoltaic gate biasing edge effect in GaAs MESFETs" *Electronics Letters*, Vol-21, No 21, October 1991.
- [4] M.Lomer, C. Navarro, A. Mediavilla, J.M. López-Figuera, J.L. Garcia, "Control óptico de Dispositivos Microonadas", URSI'96, Vol.I, pp 508-511, Madrid, Septiembre 1996.