

# Caracterización en DC de Transistores HEMT de GaN

Asmae Mimouni<sup>†</sup>, Kaoutar Zeljami<sup>†</sup>, Mohamad Chaibi<sup>†</sup>, Tomás Fernández<sup>†</sup>, Antonio Tazón<sup>†</sup>, Fernando Sánchez<sup>‡</sup>, Marina Verdú<sup>‡</sup>, Mohamed Boussouis\*

[ami27@alumnos.unican.es](mailto:ami27@alumnos.unican.es), [tomas.fernandez@unican.es](mailto:tomas.fernandez@unican.es), [fsanchezs@oc.mde.es](mailto:fsanchezs@oc.mde.es)

<sup>†</sup>Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria Avda. los Castros s/n, 39005, Santander  
<sup>‡</sup>Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada, Dpto. de Investigación, Arturo Soria 289, 28033 Madrid  
\*Dpt. de physique Université Abdel Malek Essaadi, Tetouan, Maroc

**Abstract-** AlGaIn/GaN HEMT's exhibit very promising properties for high frequency applications where high power generation is necessary. As for former devices (GaAs MESFET, etc), good models are required to predict the different figures of merit at the design stage. In this sense purpose, this paper presents a procedure to extract the parameters of the rectifying Schottky junction along with a method to obtain the values of the parasitic resistances in GaN, HEMT's. Virgin and aged devices are considered in the performed measurements to take into account the thermal stress influence in the device behavior. The obtained results will show the validity of the different presented approaches, being the same consistent with the presented in other referenced works.

## I. INTRODUCCIÓN

La generación de potencia en alta frecuencia es un aspecto fundamental en los sistemas de transmisión de información actuales y futuros como son las aplicaciones tanto militares como civiles, de telecomunicaciones, radar, etc.

Los transistores basados en AsGa (MESFET) y otras aleaciones del grupo III-V (HEMT's) han sido los semiconductores básicos para la generación y amplificación de señal a frecuencias de microondas, siempre teniendo en cuenta la limitación en el máximo nivel de potencia de salida que estos son capaces de generar.

Los dispositivos basados en GaN y sus aleaciones (AlGaIn, InGaIn) han surgido en la última década como una buena opción en aplicaciones donde altas potencias y elevadas frecuencias de trabajo se combinan. Sus propiedades físicas y electrónicas, hacen de ellos los candidatos idóneos para trabajar en aplicaciones donde se requiera una capacidad para trabajar a mayores temperaturas que otros semiconductores clásicos y a mayores frecuencias de transición.

Debido a la emergencia inminente y al gran potencial que presentan los transistores HEMT de tecnología de GaN, conviene también prestar una especial atención a la caracterización y modelado de estos componentes.

El principal objetivo de este trabajo va encaminado a evaluar el valor de las resistencias de acceso y caracterizar la unión Schottky (Gate-Source) mediante medidas en continua.

## II. MEDIDA DE LAS RESISTENCIAS EXTRÍNECAS

Este método nos da los valores de  $R_s$ ,  $R_d$  y  $R_g$  a partir de unas medidas realizadas en tres configuraciones distintas [1] del transistor que son:

- Drain a tierra, Source sin conectar.
- Source a tierra, Drain sin conectar
- Drain y Source conectados a tierra.

Para estas tres configuraciones se inyectarán unas corrientes fijas por el terminal de Gate y se tomara el valor de la corriente y la tensión en la unión.

Para las tres posibles configuraciones distintas el comportamiento de la característica  $I_g$  frente al valor de la tensión Gate-referencia no difiere de la característica que presenta una unión Schottky polarizada en directa.

Por otra parte se puede hacer la suposición, inyectando unos valores de corriente de Gate apropiados, de que la resistencia interna del diodo es despreciable frente a la resistencia de Gate sin cometer muchos errores.

Descripción operativa del método:

Con la configuración que se muestra en la figura siguiente:

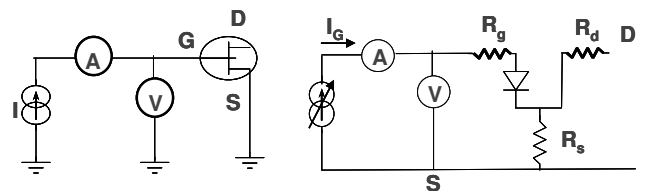


Fig. 1. a-Configuración Drain en circuito abierto, b- Esquema eléctrico correspondiente

Se inyecta una corriente  $I_g$  constante durante toda la medida. De la figura podemos obtener que la caída de tensión entre Gate y la referencia vendrá dada por:

$$V_{gse} = R_g.I_g + R_s.I_g \quad (1)$$

Con la configuración Source en circuito abierto cuyo montaje puede verse a continuación:

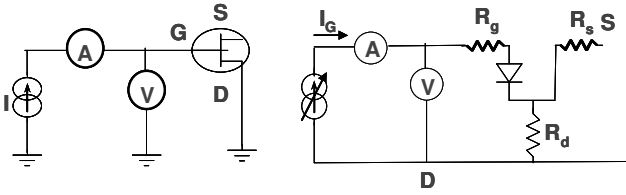


Fig. 2. a- Configuración Source en circuito abierto, b- Esquema eléctrico correspondiente

Se procede como en el caso anterior a inyectar por Gate una intensidad  $I_g$  constante midiendo la tensión existente entre el terminal de Gate y el de Drain con lo que se podrá escribir:

$$V_{gse} = R_g \cdot I_g + R_d \cdot I_g \quad (2)$$

Por último pasaremos a implementar el montaje Source y Drain cortocircuitados con la referencia. Como podemos ver en la figura siguiente:

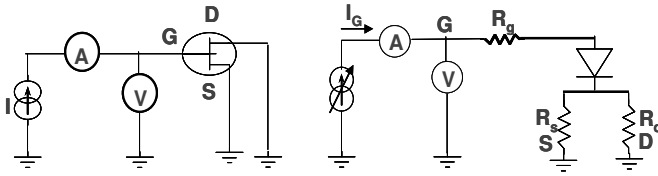


Fig. 3. a- Drain y Source en cortocircuitados, b- Esquema eléctrico correspondiente

Procederemos a inyectar una intensidad por Gate de valor  $I_g$  (igual a la de los dos casos anteriores) y a medir la tensión entre el terminal de Gate y la referencia (Source y Drain en este caso). Del circuito podemos obtener:

$$V_{gsde} = R_g \cdot I_g + \frac{R_s \cdot R_d}{R_s + R_d} \cdot I_g \quad (3)$$

Utilizamos las tres ecuaciones podemos calcular los valores de las resistencias, una vez que tenemos almacenados los valores de las medidas realizadas.

Este método, como hemos visto, proporciona el valor de  $R_s$ ,  $R_d$  y  $R_g$  a partir de las medidas realizadas; pero hemos de tener en cuenta que la bondad, o mejor dicho, exactitud de este método depende fundamentalmente de dos factores:

Debemos estar midiendo en la zona lineal de la característica  $I_g$  frente a  $V_g$ , para asegurar que la resistencia del diodo Schottky que se forma en la unión Gate-Source (o Gate-Drain) es despreciable frente a la resistencia  $R_g$ ; y esto se consigue trabajando con valores de  $I_g$  al menos mayores de 10 miliamperios.

La fuente que se utiliza para inyectar intensidades por Gate debe tener muy buena repetitividad, puesto que aunque se utilizan 3 configuraciones distintas, las medidas han de tomarse para un mismo valor de  $I_g$  en los tres casos.

### III. CARACTERIZACIÓN DE LA UNIÓN SCHOTTKY

El método que vamos a seguir trabaja con una configuración en la que el Terminal de Drain se mantiene en circuito abierto [1], como se mostró en la figura 3; a partir de este montaje se realizará la caracterización de la unión Schottky, obteniendo los parámetros  $\alpha_s$  e  $I_{ns}$ :

Partiendo de la conocida ecuación del diodo Schottky [2]:

$$I_{gs} = I_{ns} \cdot (e^{\alpha_s \cdot V_{gs}} - 1) \quad (4)$$

Utilizaremos una fuente de corriente de alta precisión (debe inyectar corrientes lo suficientemente bajas como para despreciar la caída de tensión en la resistencia extrínseca de gate) y manteniendo el terminal de Drain en circuito abierto mediremos  $V_{gs}$  e  $I_{gs}$ . Bajo estas condiciones la tensión  $V_{gs}$  entre los terminales de Gate y Source del transistor viene dada por [1]:

$$V_{gs} = I_g \cdot R + \left( \frac{1}{\alpha_s} \right) \ln \left( \frac{I_g}{I_{ns}} \right) \quad (5)$$

Donde  $R$  incluye la suma de resistencias  $R_g$  y  $R_s$ .

Se puede escribir la ecuación siguiente:

$$V_{gs} = V_{gsi} + (R_s + R_g) \cdot I_{gs} \quad (6)$$

Como se ha dicho, operando en la zona de la característica  $I/V$  en la que  $I_g$  es lo suficientemente pequeña el término  $I_g \cdot R$  de la ecuación podrá ser despreciado, con lo que la ecuación mencionada quedará como

$$V_{gs} = V_{gsi} \quad (7)$$

$$\ln(I_{gs}) = \ln(I_{ns}) + \alpha_s \cdot V_{gs} \quad (8)$$

Utilizamos la ecuación (8) Para calcular los valores de los parámetros  $\alpha_s$  e  $I_{ns}$ .

Decir por último que los resultados se presentan los valores obtenidos para diferentes transistores unos qui son virgen y otros que son con el envejecimiento.

### IV. RESULTADOS

En las figuras 4 y 5, se muestran medidas obtenidas de los valores de las resistencias extrínsecas para dos diferentes dispositivos considerados un GaN HEMT 8x75 virgen y otro envejecido mediante un proceso de estrés térmico llevado a cabo en III-V Lab's. Los valores de las resistencias se presentan en la tabla 1.

En las figuras 6 y 7, se presentan comparaciones entre los resultados medidos y los simulados de la corriente de puerta en conducción directa. Para ello se han utilizado los valores de resistencias y parámetros de la unión

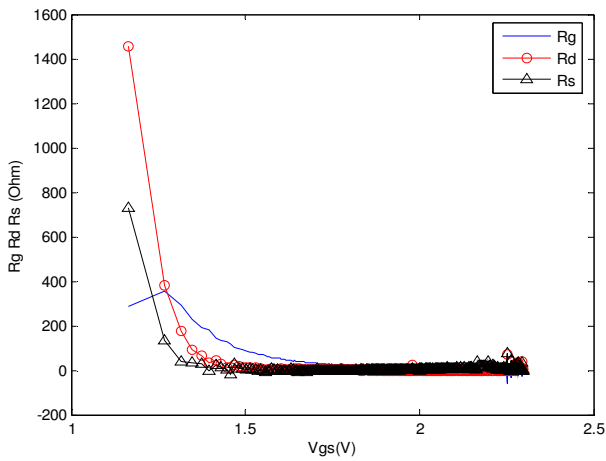


Fig. 4. Curva representativa de medidas de las resistencias de acceso del transistor envejecido. Dispositivo GaN HEMT 8x75

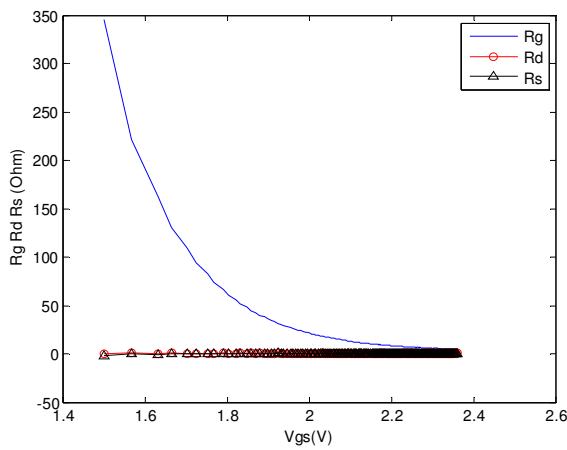


Fig. 5. Curva representativa de medidas de las resistencias de acceso del transistor virgen. Dispositivo GaN HEMT 8x75

Transistor	$R_g$ (Ohm)	$R_d$ (Ohm)	$R_s$ (Ohm)
Envejecido	2.73	3.05	5.46
Virgen	4.60	0.23	0.56

Tabla I.- Valores de las resistencias extrínsecas medidas

Como se aprecia en las figuras 4 y 5, los valores de las resistencias  $R_s$  y  $R_d$  presentan un valor constante para todos los valores de  $V_{gs}$  en los que se han evaluado (y por tanto corrientes).

En el caso de la resistencia extrínseca de gate,  $R_g$ , es necesario alcanzar valores de corrientes directas y tensiones de la unión es los que se observa que el valor de la resistencia obtenida se mantiene constante. Debido a las diferencias que introduce el proceso de envejecimiento, se observa que en el transistor virgen es necesario alcanzar mayores niveles de la tensión directa  $V_{gs}$  para estabilizar el valor de dicha resistencia, lo que pone de manifiesto la degradación de la unión que presenta el dispositivo envejecido.

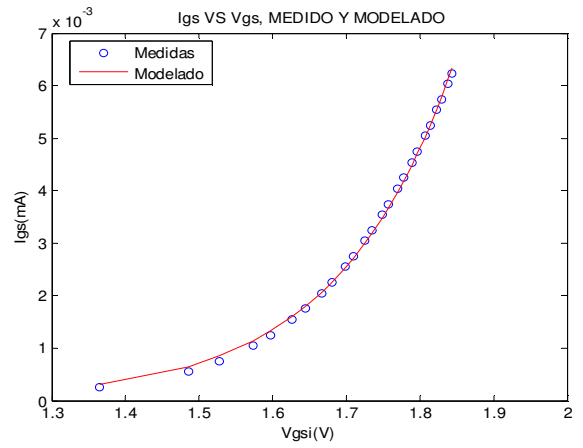


Fig. 6. Característica de la unión schottky medida y modelada para el transistor envejecido Dispositivo GaN HEMT 8x75

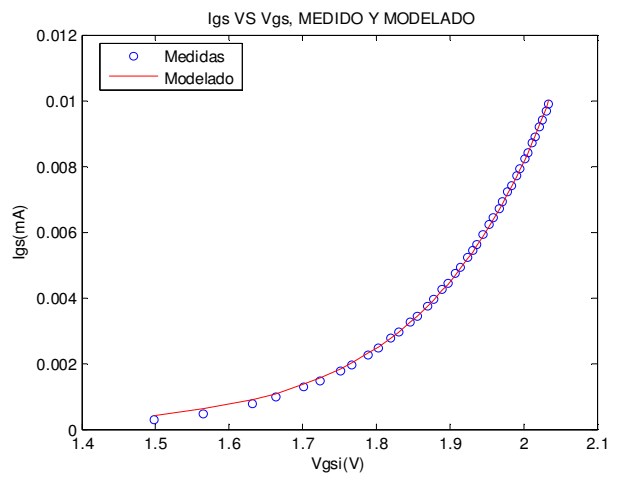


Fig. 7. Característica de la unión schottky medida y modelada para el transistor virgen. Dispositivo GaN HEMT 8x75

A partir de las medidas realizadas podemos determinar los valores de las resistencias por el método anterior como ya se dijo en la discusión teórica del método que se obtienen no difieren de las que se obtienen de medir una unión Schottky polarizada in directa.

En la tabla II se presentan los resultados obtenidos de la medida de los parámetros de la unión Schottky para los dos dispositivos bajo test.

Transistor	$\alpha$ (1/V)	$I_{ns}$ (A)
Envejecido	6.34	5.31e-008
Virgen	5.97	5.25e-008

Tabla II.- Valores parámetros de la unión Schottky para los dos HEMT 8x75, virgen y envejecido.

## V. CONCLUSIONES

Se ha presentado una técnica fiable para la determinación de resistencias extrínsecas en transistores HEMT's de GaN a partir de medidas en régimen de DC.

En el caso de las resistencias extrínsecas  $R_d$  y  $R_s$  se obtienen valores coherentes con lo que se espera de un dispositivo de estas características, así como con lo obtenido por otros autores. [5].

El caso de la resistencia extrínseca  $R_g$  se ha tratado de forma diferente ya que, como se ha puesto de manifiesto, su valor presenta una dependencia con la polarización, haciendo necesario llegar a valores de corriente y tensión en los que el mismo no presente variación.

También se han obtenido los parámetros que rigen la unión rectificadora Gate-Source, utilizando un modelado clásico de la misma [1],[3],[4]. En este caso se observa que los valores del parámetro  $\alpha$  (directamente relacionado con el factor de idealidad del diodo) presenta valores muy diferentes a los que se obtienen en transistores MESFET y HEMT de AsGa [1],[3],[4]. La razón fundamental para este comportamiento puede encontrarse en que la tecnología carece aún de la madurez necesaria para lograr uniones rectificadoras con los parámetros deseados.

En todos los casos las medidas se han llevado a cabo sobre un transistor virgen y otro, idéntico, sometido a un proceso de envejecimiento (térmico y eléctrico). De la comparación de todas las medidas podemos concluir que el dispositivo envejecido presenta degradación tanto de los contactos metálicos como de los niveles de tensión umbral, lo que se traduce directamente en el aumento de los valores de tensión necesario para la medida de las resistencias como en los altos valores de resistencias obtenidos en el dispositivo envejecido.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren hacer constar su agradecimiento al proyecto EDA KORRIGAN (RTP 102.052), dentro del cual se han obtenido y desarrollado todos los resultados que se presentan en este artículo.

## REFERENCIAS

- [1] T. Fernández A. "Diseño de un Sistema Experimental Automático para la Caracterización DC Y Pulsada de Transistores de Alta Frecuencia" Cantabria, Octubre 1991.
- [2] J. Michael Golio 1991 "Microwave MESFETs and HEMTs"
- [3] R. Mollier, Informe Interno de la Universidad de Limoges
- [4] H. Fukui, "Determination of the Basic Device Parameter of GaAs MESFET", Bell syst. Tch. J. VOL 58, NUM. 3, pp. 771-797, March 1979.
- [5] Andres Zarate. De Landa. José Eleazar-Juárez, José Raul Loo-yau, J. Apolinar Reynoso-Hernández, María del carmen Maya-Sánchez, and Juan Luis del Valle-Padilla. "Advances in linear Modeling "IEEE Microwave Magazine April 2009, pp. 100-111.