

# CARACTERIZACIÓN DE TRANSICIONES COPLANAR-MICROSTRIP EN BANDA W

Kaoutar Zeljami, Jéssica Gutiérrez, Juan Pablo Pascual, Tomás Fernández, Antonio Tazón

[zeljamik@unican.es](mailto:zeljamik@unican.es)

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria

**Abstract-** Characterization and modelling of devices, in particular diodes, in W band becomes a complex task due to the difficulties to de-embed parasitic effects of the access elements. We present a CAD model developed for two CPW-Microstrip transitions connected with a bond wire. It will be used to de-embed device measurements from empirical data results when using a commercial calibration substrate with measurement reference planes at the probe tips, which not includes CPW to microstrip transitions in the standards neither wire bonds. The Interface Model has been verified by comparing measurements and two types of simulations (3D EM and circuital physically-based) of the CPW\_Microrstrip-bond\_wire-CPW\_Microstrip.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha habido un gran progreso en el desarrollo de componentes en las bandas de frecuencias milimétricas y sub-milimétricas gracias a sus propiedades de poder penetrar en materiales opacos a la luz, visualizar e identificar estructuras microscópicas mediante el análisis espectral y, además, por ser inofensivas para el uso sobre humanos puesto que no son ionizantes. Por esto, sus aplicaciones son múltiples y abarcan desde la seguridad en aeropuertos y la diagnosis médica, hasta la exploración del espacio o el control de la contaminación. Se trata de una banda de frecuencias situada entre la luz visible y las microondas que conocemos y que aúna lo mejor de las dos: la resolución de la primera y la penetrabilidad de la segunda.

Estos avances han permitido desarrollar una familia de componentes imprescindibles en sistemas de interés operando en esas bandas, tales como diodos (para detectores y mezcladores híbridos), amplificadores y mezcladores MMIC en esta región del espectro, etc. Pero antes de realizar cualquier medida, en nuestro caso particular sobre diodos, para que ésta sea exacta y correcta, el sistema formado por todos los instrumentos debe ser calibrado para separar los efectos propios del medio de transmisión en el que se encuentra montado el dispositivo, de las características propias del dispositivo que se quiere medir y modelar.

El desarrollo de la tecnología MMIC y su integración en subsistemas en las frecuencias de ondas milimétricas y sub-milimétricas, requiere utilizar sondas de prueba coplanares (on-wafer). Esto hace necesario el uso de transiciones de guía de onda coplanar a microstrip (CPW-M), [1]-[3]. Si deseamos determinar únicamente la medida del dispositivo microstrip, es necesario restar el efecto de las transiciones CPW-M empleadas.

Con este fin, las transiciones CPW-M se han desarrollado en numerosos trabajos de investigación, que han propuesto modelos de la transición obtenidos mediante simulaciones electromagnéticas 2D [1], que se utilizan para desplazar las medidas del plano CPW-M al plano microstrip. De igual manera, se han presentado métodos donde se obtiene la matriz ABCD o la matriz T de las transiciones CPW-CPW [1] mediante ajustes a medidas [2].

En este trabajo, se propone un modelo circuital CAD para caracterizar transiciones CPW-M en la banda de frecuencias (1-110 GHz) inspirado en su estructura física, que parte de montar dos transiciones frente a frente conectadas mediante un hilo de oro, para obtener el modelo del montaje de las dos. Este modelo, se aplica después para la extracción de las transiciones en las medidas de los dispositivos. Los resultados obtenidos son comparados con las simulaciones iniciales obtenidas mediante un simulador electromagnético en 3D (HFSS) y las medidas hechas en laboratorio.

## II. MEDIDAS EXPERIMENTALES

Dentro del proyecto de investigación TERASENSE, nuestro grupo pretende, en primer lugar, diseñar e implementar un sistema de detección pasivo y posteriormente un sistema activo. Con este fin, es imprescindible trabajar en el modelado de los dispositivos activos tales como amplificadores detectores y los diodos Schottky. Sin embargo, a la hora de modelar los diodos Schottky en la banda W, nos enfrentamos con la necesidad de obtener un modelo de las transiciones para poder descontarlas de las medidas del diodo. En este sentido y en primer lugar, se ha realizado en el laboratorio un montaje sencillo consistente en dos transiciones de coplanar a línea microstrip (CPW-M) frente a frente [4], empleando para ello el modelo PROBE POINT TM1003 de JmicroTM Technology, [5], y se unieron utilizando un hilo de oro de diámetro 25  $\mu\text{m}$ , con una longitud aproximada de 330  $\mu\text{m}$  y con un bucle ("Loop") de 80 $\mu\text{m}$ .

*A. Esquema de la transición y del montaje de las dos transiciones CPW-M.hilo.CPW-M:*

En la Fig. 1, se muestra una foto de unas de las transiciones disponibles y del diseño que Jmicro Technology aporta en el "datasheet" de las mismas. En este diseño, se han

indicado las dimensiones de la estructura obtenidas en las medidas realizadas con un microscopio.

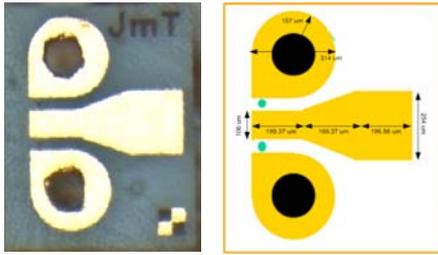


Fig. 1. Transición Coplanar-Microstrip (CPW-M). Dimensiones en  $\mu\text{m}$

A continuación en la Fig. 2, se muestra la foto del montaje de las dos transiciones unidas mediante el hilo de oro.

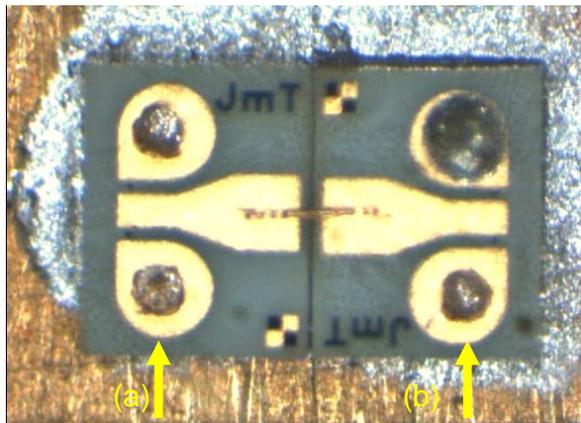


Fig. 2. Montaje a medir CPW-M.hilo.CPW-M

### B. Medidas experimentales

Para realizar las medidas en la banda de frecuencias 1-50 GHz, hemos empleado un analizador de redes vectorial (PNA) conectado a una estación de sondas coplanares (con coaxial 2.4mm). Y en la banda de frecuencias 75-110GHz, hemos empleado un equipo de medidas formado por un PNA-X, unas cabezas extensoras conectadas al PNA-X, las transiciones guía de onda a coaxial y cables de 1 mm, que nos permiten medir en toda la banda W (75-110GHz) y finalmente, una sondas de prueba coplanares Modelo 110H PicoProbe para medir en oblea (on-wafer), con un espaciado (“pitch”) de 125 $\mu\text{m}$ . Las puntas de medida sirven como adaptadores entre los cables medida y las superficies de contacto (“Pads”) de la estructura de medida.

Si se emplea la calibración de JMicro se puede descontar el efecto de las transiciones. Así se ha hecho en la banda hasta 50GHz. Sin embargo, este conjunto de calibración no opera en la banda de 75-110GHz. En ese caso, se puede utilizar para la calibración el procedimiento genérico (Cascade ProbeLRM) que sitúa los planos de medida en el lugar de posicionamiento de las puntas ((a) y (b) en la Fig. 2). Posteriormente, el plano de referencia podrá ser cambiado de posición para poder medir el montaje teniendo en cuenta los efectos de las dos transiciones CPW-M y del hilo. Para calibrar el sistema en el plano de las sondas coplanares, hemos utilizado una calibración LRRM [6], y estándares coplanares (ISS 101-190 de Cascade 38286).

Se realizó una calibración SOLT, para corregir la influencia de los cables y obtener los parámetros de Scattering de las dos transiciones con el hilo de oro de conexión.

Indicar que se dispone de dos cabezales diferentes uno del otro, el de la entrada es transmisor/receptor y el conectado a la salida es sólo receptor, lo que significa que únicamente podemos medir el  $S_{11}$  y el  $S_{21}$  simultáneamente, y para poder medir los parámetros  $S_{22}$  y  $S_{12}$  es necesario dar la vuelta al montaje de las dos transiciones. En nuestro caso, los parámetros  $S_{22}$  y  $S_{12}$  coinciden con el  $S_{11}$  y  $S_{21}$ , sin embargo, el hecho de no poder posicionar las puntas en el mismo sitio exactamente (como primer caso para medir  $S_{11}$  y  $S_{21}$ ) nos puede causar una cierta diferencia en los valores, que se puede apreciar en las graficas de las medidas en la banda W (75-110GHz).

Con el fin de medir en la banda W, el sistema de medida es el mostrado en la figura siguiente, donde se aprecian las transiciones de guía de onda a coaxial de 1mm, puesto que las puntas tienen ese tamaño de conector.



Fig. 3. Montaje de medidas con PNA-X en la banda W

## III. SIMULACIONES

### A. ADS

En primer lugar, hemos empezado con una simulación para obtener un modelo circuital que se ha realizado empleando ADS (Advanced Design System), de Agilent, usando líneas microstrips (TLine) y coplanares (CPW) y Tapered Line (MTAPER) para tener en cuenta la forma de las líneas de las transiciones y finalmente “vías holes”, que permiten asegurar un buen contacto entre tierra y “bond wire” (hilo) para tener en cuenta el efecto de hilo de “bonding” [7].

En esta simulación, también se tendrá que definir el sustrato que se utilizará. En este caso es el de Alúmina con las siguientes características: permitividad,  $\epsilon_r = 9.9$ ; espesor de las metalizaciones,  $t = 3\mu\text{m}$ ; altura del dieléctrico,  $h = 10\text{mil}$ ; conductividad,  $\sigma = 4 \cdot 10^7 \text{ S/m}$ , sin olvidar el hilo de conexión que tiene como longitud aproximada  $l=330\mu\text{m}$  y de diámetro  $25\mu\text{m}$  y está colocado con un “Loop” de  $80\mu\text{m}$ . Hemos realizado medidas de las longitudes y anchuras de cada una de las líneas, tanto coplanar como microstrip, con un microscopio calibrado. Como primer paso hemos empezado con unas simulaciones circuitales del hilo utilizando los modelos del hilo que están en la librería de

ADS para comprobar la validez del hilo que vamos a utilizar en nuestro circuito, y para asegurarnos de la buena elección del modelo del hilo hemos hecho unas pruebas de medidas del hilo. Partimos de las medidas del mismo montaje (CPW-hilo-CPW) con una calibración que descuenta el efecto de las transiciones en la banda 1-50GHz y comparamos los resultados de las medidas con el modelo del hilo. El circuito a simular es el que se muestra a continuación:

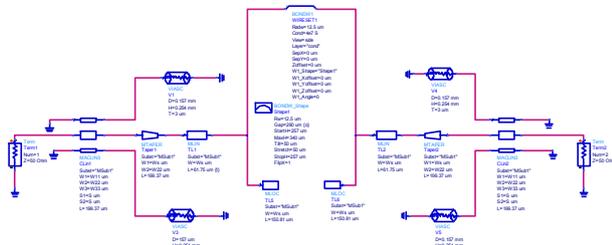


Fig. 4. Modelo circuital en ADS del montaje de las transiciones con hilo

### B. HFSS

La segunda herramienta que se ha utilizado para validar la respuesta del montaje de las transiciones ha sido el programa HFSS (High Frequency Structure Simulator). Este software permite resolver electromagnéticamente la estructura en 3D, y nos permite obtener de forma fácil y visual los resultados en función de los campos electromagnéticos y de los parámetros S. En primer lugar, se realizó una única transición CPW-microstrip definiendo para cada objeto el material utilizado. En este caso, el conductor y la metalización es oro y todo ello está encerrado en el vacío. También fue necesario indicar y definir los dos puertos utilizados, en este caso “wave port”. Antes de realizar el cálculo, las condiciones de contorno se deben aplicar a las caras frontera de la estructura. Estas condiciones de contorno, permiten describir el comportamiento del campo electromagnético en y más allá de los límites, por ejemplo, si se radia hasta el infinito o si la radiación es absorbida o reflejada. Y estas condiciones, son necesarias para obtener una solución numérica. Para obtener una forma del hilo más próxima a la realidad, como es un simulador en 3D, hemos importado en el circuito directamente el diseño del hilo de CST utilizando un formato igs.

El montaje de las transiciones CPW a microstrip simulado utilizando el simulador electromagnético 3D HFSS de Ansoft Designer se muestra en la Fig. 5, con el propósito de obtener el comportamiento de los parámetros de scattering en función de la frecuencia.

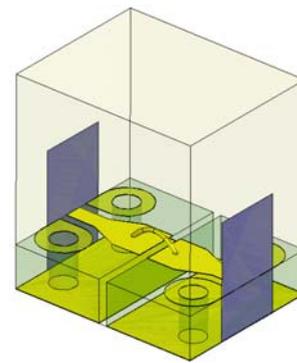


Fig. 5. Vista 3D del montaje de las transiciones con el hilo

## IV. RESULTADOS

Una vez realizados los diseños, el siguiente paso fue la propia simulación, tanto de ADS como de HFSS. Así, en primer lugar, en la Fig. 6, se muestra una comparativa de las medidas obtenidas en el laboratorio del montaje disponible (Fig. 2) junto con la propia simulación obtenida en ADS del modelo circuital diseñado (Fig. 4).

Se puede apreciar cómo la simulación tiene un comportamiento muy similar a las medidas de la estructura, en ambos parámetros,  $S_{11}$  y  $S_{21}$ . Además, se puede observar en las dos gráficas, que no tenemos medidas en el rango completo de frecuencias deseadas, puesto que en el rango de frecuencias de 50 a 75GHz no nos es posible medir con los equipos disponibles. Esto supone un inconveniente a la hora de optimizar el modelo circuital, pero aún así, se ha conseguido obtener un modelo circuital adecuado tanto para la propia transición CPW-microstrip como para el efecto del hilo necesario para conectar las dos transiciones, y en todo el rango de frecuencias. Por otra parte, en la simulación también ha sido crítico el efecto del hilo, teniendo por tanto, que diseñarle con la forma y dimensiones exactas que presenta en el montaje físico.

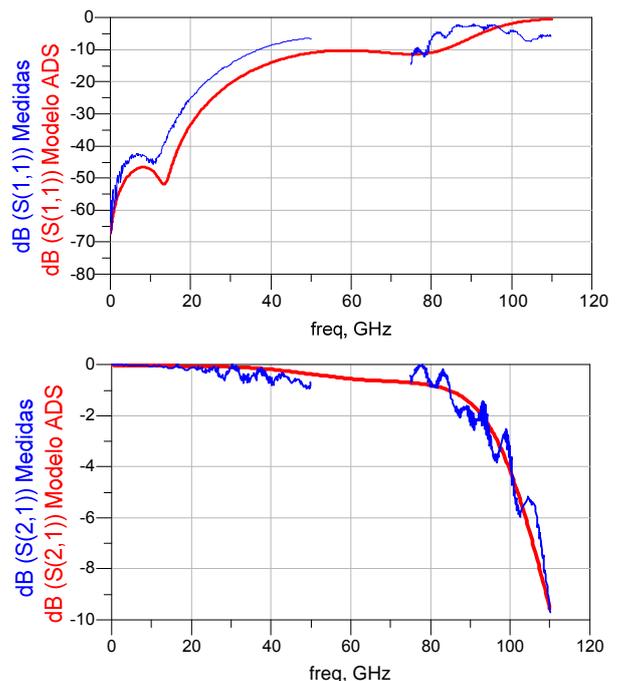


Fig. 6. Comparación entre los parámetros [S] del modelo circuital en ADS y las medidas del montaje (CPW-M.hilo.CPW-M)

En cuanto a la simulación electromagnética 3D obtenida con HFSS, en la Fig. 7, se presentan los resultados de los parámetros obtenidos en la simulación del montaje mostrado anteriormente en la Fig. 5.

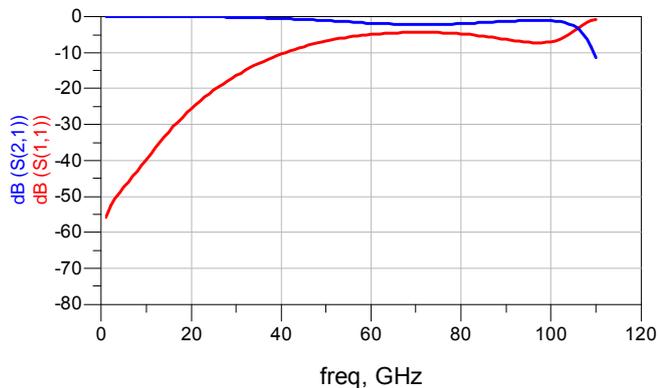


Fig. 7. Resultados de la simulación 3D en HFSS

Se han obtenido unos resultados iniciales que son los deseados sobre todo en alta frecuencias 100-110 GHz, esto es debido a varios factores estructurales que no se han tenido en cuenta durante el proceso de diseño (como la caja donde se incluirá, la metalización de los pasos a masa, etc...) y a elecciones arbitrarias como la de la separación entre las dos transiciones. Este trabajo aun no se puede considerar concluido puesto que se sigue trabajando en la realización de nuevas probetas de medidas y en la optimización de los modelos, así que los resultados obtenidos todavía no son los definitivos.

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo se han propuesto por un lado un circuito eléctrico equivalente de las transiciones coplanar-microstrip realizadas con tecnología JMicro, adecuado para operar a frecuencias de microondas y ondas milimétricas. Por otro lado se ha presentado un modelado electromagnético 3D de las transiciones CPW-M que se podrá utilizar para llevar a cabo el proceso de "de-embedding" en la corrección de medidas de dispositivos (diodos de banda W) para su caracterización y modelado. En ambos casos, las comparaciones con las medidas ponen de manifiesto la validez de los modelos presentados.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la financiación proporcionada por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) a través de los proyectos TEC2008-06684-C03-01, CONSOLIDER CSD2008-00068 y TEC2008-06874-C03-01, y al Gobierno Regional de Cantabria por el proyecto "Detección Tumoral precoz en Tejidos Vesicales y Renales por medio de Sensores No Intrusivos a Frecuencias de Microondas y THz".

## REFERENCIAS

[1] A. Pham', J. Laskar', and J. Schappacher, "Development of On-Wafer Microstrip Characterization Techniques" ARFTG Conference Digest-Spring, 47th, Spring 1997 Vol. 29, pp. 85-94, June 1997

[2] M. C. Maya, A. Lázaro, P. de Paco y L. Pradell, "A method for characterizing coplanar waveguide to microstrip transitions and its application to the measurement of microstrip devices with coplanar microprobes" Microwave and optical technology letters/ vol. 39, No. 5, December 5 2003

[3] G.P. Gauthier, L.P. Katehi, and G.M. Rebeiz, "W-band finite ground coplanar waveguide (FGCPW) to Microstrip line transition," IEEE MTT-S Digest, pp.107-109, 1998.

[4] A. Sutono, N.G. Cafaro, J. Laskar, E. Tentzeris " Experimental Study and Modeling of Microwave Bond Wire Interconnects" IEEE antennas and propagation society international symposium, Vol.4, 2000

[5] ProbePoint 1003, test interface Circuit-Coplanar to microstrip, Jmicro technology

[6] F. Purroy, and L. Pradell "New theoretical analysis of the LRRM calibration technique for vector network analyzers," Transactions of instrumentation and Measurement, Vol.50, No.5, pp.1307-1314, Oct. 2001

[7] Beatriz Aja Abelán. "Amplificadores de Banda Ancha y Bajo Ruido Basados en Tecnología de GaAs para Aplicaciones de Radiometría" Santander, Octubre de 2006