

Dispositivos Coaxiales Micromecanizados para Banda Milimétrica

Aline Jaimes-Vera⁽¹⁾, Ignacio Llamas-Garro⁽²⁾, Maolong Ke⁽³⁾, Yi Wang⁽³⁾, Michael J. Lancaster⁽³⁾, Lluís Pradell⁽¹⁾.

llamasi@ieee.org

⁽¹⁾ Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cataluña, 08034, Barcelona España.

⁽²⁾ Centre Tecnologic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC), 08860 Barcelona, España.

⁽³⁾ Electronic, Electrical and Computer Engineering Department, The University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham B15 2TT, U.K.

Abstract- This paper presents compact micromachined coaxial devices for millimeter wave applications at U and V bands. The coaxial center conductor is suspended in air by short circuits to the outer conductor. The designs include a suspended transmission line, two narrowband filters and a diplexer.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha presentado una importante expansión en las comunicaciones móviles y en las redes de área local, emergiendo nuevas aplicaciones a frecuencias milimétricas, tales como: la transmisión satelital a 35 GHz, las redes de área local de banda ancha a 60 GHz, comunicación entre vehículos a 63 GHz o en radares para evitar colisiones entre vehículos a 77 GHz.

Tales aplicaciones requieren una mayor velocidad en la transmisión de datos y un mayor ancho de banda. El constante desplazamiento de las aplicaciones hacia frecuencias altas ha traído nuevos retos, como son: el desarrollo de tecnologías que permitan realizar dispositivos con dimensiones reducidas, peso reducido, elevadas prestaciones y bajos costos de fabricación. Tales dispositivos deben ser a su vez compatibles e integrables con tecnologías tradicionales.

La micromecanización presenta la posibilidad de realizar dispositivos para banda milimétrica con precisión y bajo costo. Estas ventajas han permitido que las técnicas de micromecanizado sean una buena alternativa para superar las limitaciones de la tecnología convencional, con un auge cada vez mayor.

Existen diversas técnicas de fabricación desarrolladas en los últimos años [1-5], las cuales ofrecen una alta relación de aspecto y estructuras parcial o completamente blindadas. Dentro de estas técnicas, se encuentra la tecnología que utiliza SU-8 [4,5] con la cual se realizaron los dispositivos presentados en este artículo; esta tecnología permite el grabado de estructuras con una alta relación de aspecto.

En este artículo se describe el diseño de dos filtros con ancho de banda estrecho, así como una línea coaxial suspendida para la interconexión de dispositivos y un diplexor. Estas estructuras han sido implementadas dentro de líneas coaxiales rectangulares, las cuales han sido obtenidas mediante 5 capas de SU-8 recubiertas con oro. Todas las estructuras presentadas en este artículo fueron simuladas usando Ansoft HFSS.

II. DISEÑOS PARA LA BANDA V

Este apartado describe una línea coaxial suspendida y un filtro. Ambos diseños contienen accesos coplanares utilizados para realizar mediciones sobre oblea. Los diseños tienen una frecuencia central de 63 GHz.

A. Línea coaxial suspendida

Con la finalidad de interconectar los dispositivos diseñados al equipo de medición o a cualquier circuito que utilice tecnología coplanar, se ha diseñado una línea coaxial suspendida que permite la transición entre una línea coplanar y una línea coaxial rectangular.

En este subapartado se explica el diseño de una línea coaxial suspendida a 63 GHz (Fig. 1). Esta transición se encuentra conectada a la entrada y salida de todos los dispositivos presentados en este artículo.

La estructura inicia en una línea coplanar con un *pitch* de 150 μm (conductor central de 60 μm) y termina en una línea coaxial rectangular cuyo conductor central tiene un ancho de 360 μm . El incremento en la anchura de la línea coaxial suspendida tiene como finalidad obtener dispositivos de filtrado con un mayor factor de calidad.

La estructura se encuentra dividida en tres partes, la entrada coplanar, la salida coaxial y la interfase entre las dos terminaciones. Esta interfase es obtenida mediante secciones coaxiales que incrementan su anchura hasta hacer coincidir la línea coplanar con el conductor central de la línea coaxial rectangular. La interconexión entre secciones ha sido optimizada mediante simulaciones para reducir al mínimo las pérdidas por reflexión. Todas las líneas que integran la transición han sido diseñadas con una impedancia característica de 50 Ω .

Para evitar el uso de dieléctrico o de una membrana para soportar la estructura, el conductor central se encuentra suspendido mediante el uso de *stubs* de un cuarto de longitud de onda, estas líneas se encuentran en cortocircuito con el coaxial exterior resultando en un circuito abierto donde los *stubs* hacen contacto con el conductor central. La línea coaxial suspendida ha sido diseñada con *stubs* ubicados de tal manera que proporcionen un soporte mecánico robusto a la estructura suspendida en aire. En la Fig. 1 se muestra una vista 3D de la línea coaxial suspendida en configuración

back-to-back y en la Fig. 2 se muestra la respuesta simulada y medida. Los resultados muestran una línea coaxial suspendida con accesos coplanares de bajas pérdidas, utilizable para interconectar diferentes componentes en un subsistema de banda milimétrica. La localización adecuada de los stubs permite obtener un ancho de banda amplio.

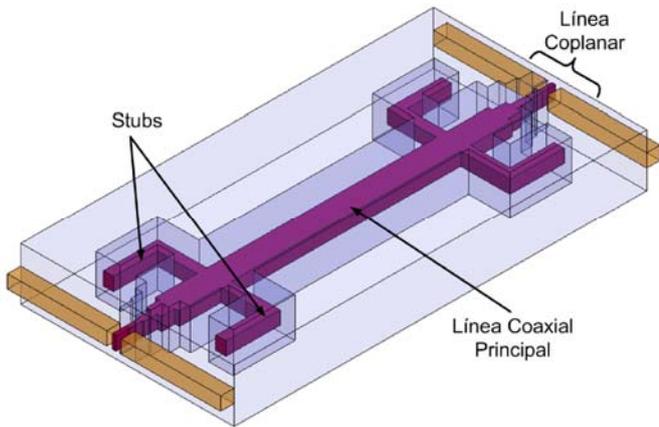


Fig. 1. Línea coaxial suspendida a 63 GHz

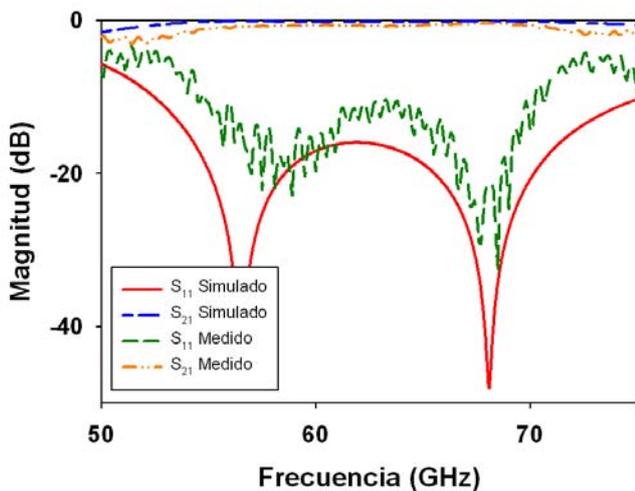


Fig. 2. Respuesta simulada y medida de la línea coaxial suspendida a 63 GHz

B. Filtro

En este subapartado se presenta el diseño de un filtro con respuesta Chebyshev a 63 GHz (Fig. 3). Se ha utilizado un resonador soportado mediante un cortocircuito entre conductor central y conductor exterior. Este cortocircuito se encuentra en la parte central de la estructura. El resonador eléctricamente consiste en dos circuitos resonantes de $\lambda/4$ acoplados magnéticamente. Físicamente se tiene un resonador dual de aproximadamente $\lambda/2$. El resonador presenta dos modos de resonancia, que pueden ser ajustados variando la longitud de los extremos abiertos del resonador y las dimensiones del corto circuito.

El procedimiento de diseño del filtro sigue el método de [6], mediante el cual el factor de calidad externo Q_e y el coeficiente de acoplamiento K_{ij} son obtenidos mediante simulaciones electromagnéticas. Los parámetros de diseño utilizados para este filtro se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de diseño del filtro Chebyshev a 63 GHz

Valores g del prototipo pasobajo		
$g_1 = 0.4489$	$g_2 = 0.4078$	$g_3 = 1.1008$
Factor de calidad externo y coeficiente de acoplamiento		
$Q_{e\ in} = 8.978$	$Q_{e\ out} = 8.978$	$K_{12} = 0.1168$

El filtro fue diseñado con una frecuencia central de 63 GHz, un ancho de banda fraccional de 5% y un rizado en la banda de paso de 0.01 dB. Después de obtener el espaciado óptimo entre las líneas de alimentación y las dimensiones del resonador, el filtro puede ser realizado.

El filtro ha sido implementado dentro de una línea coaxial rectangular, formada por 5 capas de SU-8 con 200 μm de espesor recubiertas con oro. Estas capas son apiladas para formar la estructura coaxial. El proceso de fabricación de las capas se expone en el apartado IV de este artículo. Las dimensiones completas del dispositivo son 6.96 x 2.76 x 1 mm.

En la Fig. 3 se muestra una vista 3D del filtro diseñado y la Fig. 4 presenta los resultados medidos y simulados. En la Fig. 4 se observa un ligero decremento del ancho de banda, siendo de 5% en la respuesta simulada y de 4% en las mediciones.

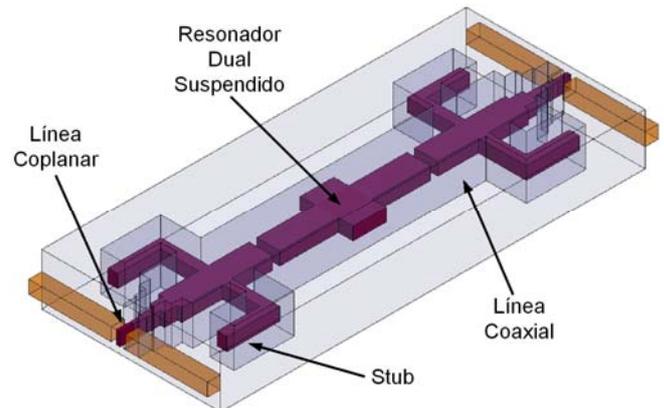


Fig. 3. Filtro Chebyshev a 63 GHz

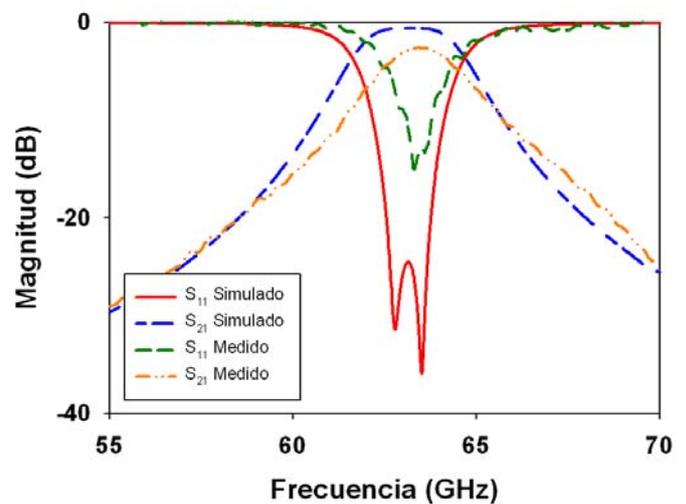


Fig. 4. Respuesta simulada y medida del filtro Chebyshev a 63 GHz

Este filtro será fabricado nuevamente debido a que las pérdidas óhmicas son más altas de lo esperado, lo cual creemos que es debido a defectos de fabricación. La respuesta simulada muestra una pérdida de inserción de -0.64 dB y una pérdida de retorno de -29.9 dB a la frecuencia de 63.1 GHz. La respuesta medida presenta una pérdida por inserción de -2.6 dB y una pérdida de retorno de -13.8 dB a la frecuencia de 63.3 GHz.

III. DISEÑOS PARA LA BANDA U

En este apartado se presenta el diseño e implementación de un filtro utilizando la topología expuesta en el apartado anterior con una frecuencia central de 42 GHz. Este diseño ha sido utilizado para la simulación de un diplexor el cual tiene una frecuencia central para transmisión de 47 GHz y una frecuencia central para recepción de 42 GHz.

A. Filtro

El procedimiento de diseño es el expuesto en el apartado II.B. Los elementos g del prototipo pasabajo, el factor de calidad externo Q_e y el coeficiente de acoplamiento K_{ij} para este diseño se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de diseño del filtro Chebyshev a 42 GHz

Valores g del prototipo pasabajo		
$g_1 = 0.4489$	$g_2 = 0.4078$	$g_3 = 1.1008$
Factor de calidad externo y coeficiente de acoplamiento		
$Q_{e\ in} = 4.489$	$Q_{e\ out} = 4.489$	$K_{12} = 0.2337$

El filtro tiene una frecuencia central de 42 GHz con un ancho de banda fraccional de 5% y un rizado en la banda de paso de 0.01 dB. Las dimensiones del filtro son 8.34 x 2.76 x 1 mm. La respuesta medida y simulada del filtro es presentada en la Fig. 5, la cual muestra una buena concordancia entre resultados experimentales y simulados. Las pérdidas de inserción son de -0.79 dB en medición y -0.43 dB en simulación a 42.1 GHz y las pérdidas de retorno son de -18.1 dB en medición y -25.1 dB en simulación a 42.1 GHz.

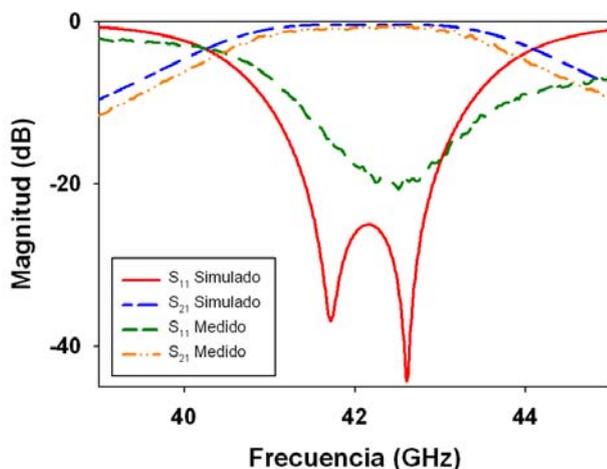


Fig. 5. Respuesta simulada y medida del filtro Chebyshev a 42 GHz

B. Diplexor

En este subapartado se presenta el diseño de un diplexor para la banda U. El diplexor está formado por la combinación de dos filtros con frecuencias centrales de 42 y 47 GHz. Ambos filtros fueron diseñados con una respuesta tipo Chebyshev, con un ancho de banda fraccional de 5% y un rizo para la banda de paso de 0.01 dB.

Para la banda de recepción se ha utilizado el filtro presentado en la sección A de este apartado. El filtro de transmisión fue diseñado con una frecuencia central de 47 GHz. Los elementos g del prototipo pasabajo, el factor de calidad externo Q_e y el coeficiente de acoplamiento K_{ij} son los mostrados en la Tabla 2.

Los filtros han sido unidos mediante una unión tipo T, la cual permite tener un puerto compartido para ambos filtros. Esta unión ha sido optimizada mediante simulaciones para obtener un buen aislamiento entre las salidas de ambos filtros. En la Fig. 6 se muestra una vista 3D del diplexor y en la Fig. 7 se presenta la respuesta simulada. El dispositivo mostrado en la figura 6 está en proceso de fabricación y se medirá en un futuro cercano. Las dimensiones finales del dispositivo son 16.44 x 5.6 x 1 mm.

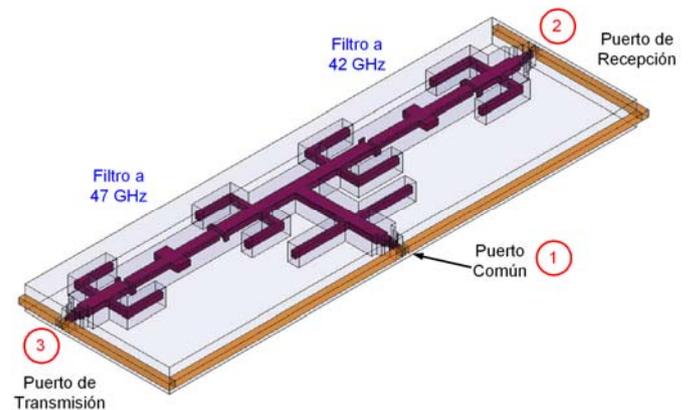


Fig. 6. Vista 3D del diplexor para la banda U

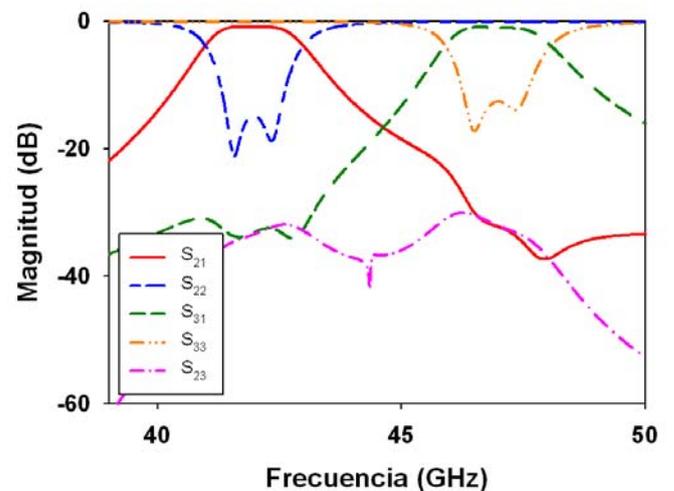


Fig. 7. Respuesta simulada del diplexor para la banda U

IV. FABRICACIÓN

En este apartado se expone el proceso de fabricación de los dispositivos previamente expuestos. El proceso comienza

con el depósito uniforme de fotoresina SU-8 sobre una oblea de silicio de 4 pulgadas mediante un centrifugado a 600 r/min durante 40 seg. Después del depósito, la resina es pre-horneada a 65 °C durante 5 min y horneada a 95 °C durante 2 horas. La exposición de la resina se realizó alineando la máscara con un equipo Canon PLA. El post-horneado a una temperatura de 65 °C durante 5 min y 95 °C durante 2 horas es utilizado para definir las estructuras. El revelado se hizo mediante un solvente EC, posteriormente la fotoresina es horneada a 150 °C durante 30 min para reforzar la estructura. Las piezas de SU-8 son liberadas del sustrato de silicio utilizando una solución de hidróxido de sodio [5].

Todas las capas fueron fabricadas con 200 μm de espesor y recubiertas con oro de 2 μm sobre una capa delgada de semilla Cr/Au, incluyendo las paredes verticales del coaxial mediante un evaporador, al cambiar continuamente el ángulo de incidencia del sustrato. Finalmente las 5 capas son alineadas y unidas usando un *flip chip bonder*.

Las capas 2 y 4 de todos los diseños se encuentran unidas mediante *links* temporales en los extremos para facilitar un buen alineamiento de estas capas. Estos permiten fabricar las capas 2 y 4 en una sola pieza. Estos *links* pueden ser eliminados una vez que el proceso de fabricación ha sido terminado. En la Fig. 8(a) se muestra la fotografía de uno de los dispositivos terminados, ampliando una de las entradas coplanares del dispositivo. Asimismo, la Fig. 8(b) muestra los *links* utilizados para el empaquetado de la estructura.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado varios componentes coaxiales micromecanizados usando SU-8 recubierto con oro. Esta técnica ofrece un bajo costo de fabricación y permite la implementación de circuitos para banda milimétrica. Los dispositivos obtenidos pueden ser considerados una buena alternativa para producir subsistemas compactos e integrados ya que proveen un alto aislamiento entre circuitos adyacentes, y cuentan con un alto factor de calidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de investigación TEC2007-65705/TCM del ministerio de educación y cultura.

Aline Jaimes V. desea agradecer a CONACyT por la beca No. 198264 y Alβan por la beca No. E07D402796MX.

Agradecemos a Zabdiel Brito Brito por su asistencia en la realización de las medidas de los dispositivos.

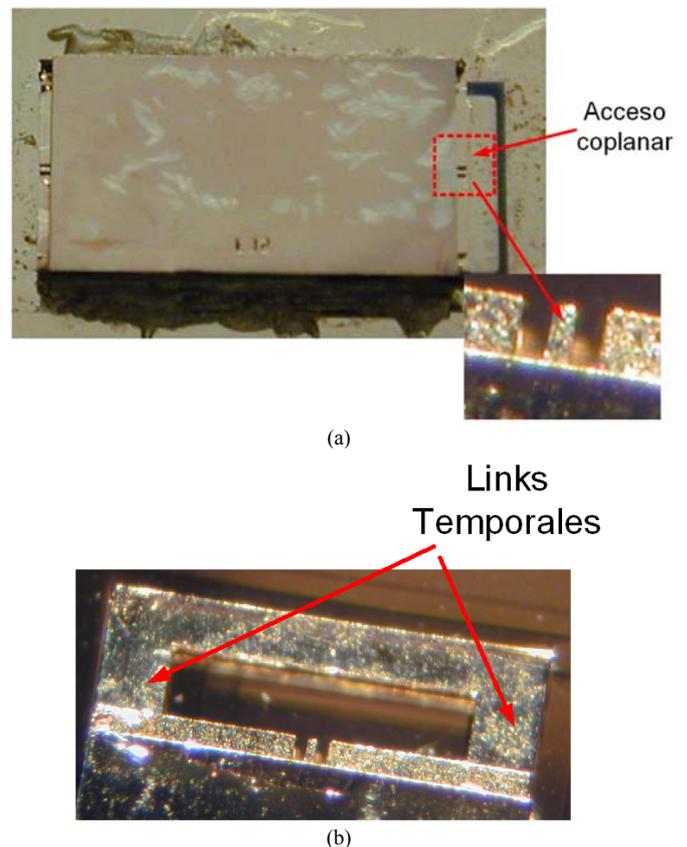


Fig. 8. Filtro fabricado a 42 GHz (a) Estructura del filtro y acercamiento al acceso coplanar (b) *Links* temporales utilizados para el empaquetado de la estructura

REFERENCIAS

- [1] Eric D. Marsh, James Robert Reid and Vladimir S. Vasilyev, "Gold-Plated Micromachined Millimeter-Wave Resonator Based on Rectangular Coaxial Transmission Lines", *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, Vol.55, No.1, Jan. 2007, pp 78-84
- [2] Kenneth J. Vanhille, Daniel L. Fontaine, Christopher Nichols, Zoya Popovic and Dejan S. Filipovic, "Ka-Band Miniaturized Quasi-Planar High-Q Resonators", *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, Vol.55, No.6, June 2007, pp 1272-1279
- [3] Ignacio Llamas-Garro, Yongsung Kim, Chang-Wook Baek, Yong-Kweon Kim, "A Monolithic Surface Micromachined Half-Coaxial Transmission Line Filter". *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, Vol. 54, No. 12, Dec. 2006, pp 4161-4168
- [4] K. Jiang, M.J. Lancaster, I. Llamas-Garro and P. Jin, "SU-8 Ka-band filter and its microfabrication" *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 15, August 2005, pp 1522-1526
- [5] Michael J. Lancaster, Jiafeng Zhou, Maolong Ke, Yi Wang and Kyle Jiang, "Design and High Performance of a Micromachined K-Band Rectangular Coaxial Cable", *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, Vol. 55, No.7, July 2007, pp 1548-1553
- [6] Jia-Sheng Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip filters for RF/Microwave applications*, John Wiley and Sons Inc, 2001