

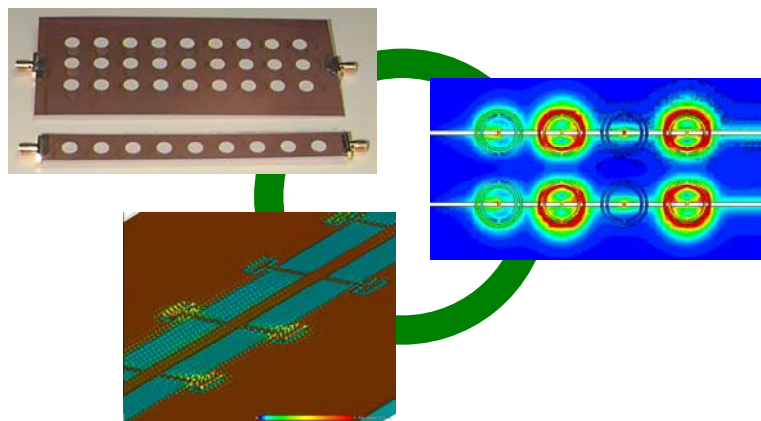


UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
NAFARROAKO UNIBERTSITATE PUBLIKOA  
*Ingeniaritza Elektriko eta Elektroniko Saila*



*Convocatoria XXVI Premios a la Mejor Tesis Doctoral,  
Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.*

# Synthesis and applications of Microwave Metamaterials in Planar Circuit Technology: From Electromagnetic Bandgaps to Left Handed Materials



Tesis Doctoral realizada por/ Doctoral Thesis by  
Francisco Javier Falcone Lanas

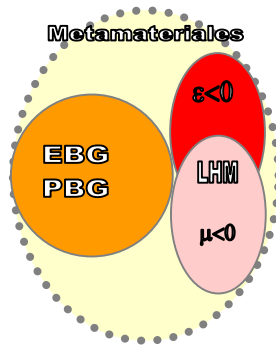
Dirigida por/Supervised by  
Dr. Mario Sorolla Ayza  
Dr. Ferrán Martín Antolín

## Indice

1. Origen .....	1
2. Objetivo .....	1
3. Desarrollo .....	1
3.1 Estructuras EBG Microstrip .....	2
3.2 Guía de Cristal Fotónico en tecnología plana.....	2
3.3 Estructuras EBG en tecnología coplanar .....	3
3.4 Metamateriales en tecnología plana basados en SRR y CSRR. ....	4
4. Conclusiones.....	6
5. Originalidad .....	7
6. Resultados.....	9
7. Aplicabilidad .....	12

## 1. Origen

El desarrollo de medios materiales artificialmente generados con el fin de poder controlar las propiedades físicas de las ondas electromagnéticas han contado con el interés por parte de la comunidad científica y técnicas desde hace mucho tiempo. Desde el S. XVIII, en que Sir Isaac Newton discutiera la propagación de ondas de presión sonoras mediante el modelado discreto del medio que las rodea, ha habido numerosos estudios que han perseguido modelar y comprender las estructuras periódicas. En el campo de la electricidad, es fundamental la contribución de O. Heaviside con su descripción de los fenómenos inductivos y capacitivos en líneas de transmisión. De manera paralela, Max Planck describe la discretización de la energía en cuantos, lo que a la postre se convertirá en la piedra angular (junto con el efecto foto-eléctrico descrito por Einstein y la obtención de las ecuaciones mecánico-cuánticas de Schrödinger) de la teoría semiconductor. Este es un punto crucial en el desarrollo de los sistemas de información y telecomunicaciones, microelectrónica como soporte información. Los semiconductores electrónicos. El mismo fin se ha seguido en el desarrollo de la tecnología de transistores fotónicos, el paso dominio óptico. Dicho logro permitiría velocidad de procesado, al no estar sujeto a por lo tanto, consiguiendo anchos de banda impensables. Desgraciadamente, no existen semiconductores que controlen la energía se propuso la implementación artificial de una propagación de ondas electromagnéticas en ciertas bandas frecuenciales. Para ello, se propone emplear retículas periódicas, similares a las estructuras atómicas cristalinas. Este símil ha sido el responsable de que dichas estructuras se denominen cristales fotónicos, o también estructuras de gap electromagnético (EBG). Este tipo de medios, denominados medios zurdos (Left Handed Media) tienen propiedades físicas sorprendentes, como son velocidad de grupo y fase antiparalelas, índice de refracción negativo, efecto Doppler inverso o soportar radiación Čerenkov inversa. Este tipo de materiales no existen en la naturaleza de manera directa. Recientemente, en el año 2000, se propuso mediante el empleo conjunto de resonadores de anillos abiertos (Split Ring Resonators) y una malla de finos hilos metálicos, se logró implementar el primer medio zurdo experimentalmente validable. Bajo el nombre de metamateriales se engloban todo este tipo de estructuras artificialmente generadas, cuyo objetivo es controlar la propagación de ondas electromagnéticas, mediante fenómenos de confinamiento basados en su mayoría en resonancias.



punto crucial en el desarrollo de los sistemas de información y telecomunicaciones, microelectrónica como soporte información. Los semiconductores electrónicos. El mismo fin se ha seguido en el desarrollo de la tecnología de transistores fotónicos, el paso dominio óptico. Dicho logro permitiría velocidad de procesado, al no estar sujeto a por lo tanto, consiguiendo anchos de banda impensables. Desgraciadamente, no existen semiconductores que controlen la energía se propuso la implementación artificial de una propagación de ondas electromagnéticas en ciertas bandas frecuenciales. Para ello, se propone emplear retículas periódicas, similares a las estructuras atómicas cristalinas. Este símil ha sido el responsable de que dichas estructuras se denominen cristales fotónicos, o también estructuras de gap electromagnético (EBG). Este tipo de medios, denominados medios zurdos (Left Handed Media) tienen propiedades físicas sorprendentes, como son velocidad de grupo y fase antiparalelas, índice de refracción negativo, efecto Doppler inverso o soportar radiación Čerenkov inversa. Este tipo de materiales no existen en la naturaleza de manera directa. Recientemente, en el año 2000, se propuso mediante el empleo conjunto de resonadores de anillos abiertos (Split Ring Resonators) y una malla de finos hilos metálicos, se logró implementar el primer medio zurdo experimentalmente validable. Bajo el nombre de metamateriales se engloban todo este tipo de estructuras artificialmente generadas, cuyo objetivo es controlar la propagación de ondas electromagnéticas, mediante fenómenos de confinamiento basados en su mayoría en resonancias.

## 2. Objetivo

El objetivo del trabajo de investigación desarrollado en la tesis doctoral es el de implementar y demostrar estructuras artificiales en tecnología plana de bajo coste de alta frecuencia. Hay dos tipos de estructuras que se van a analizar:

- ❑ Estructuras de gap electromagnético en tecnología plana de alta frecuencia. Se exploran las líneas de transmisión más comunes, como son microstrip y guía coplanar. Tras el analizar la viabilidad de introducir un patrón periódico en la estructura, se proponen dispositivos tales como filtros con elevadas pendientes de rechazo y resonadores completamente planos. Prosiguiendo en el estudio de este tipo de estructuras, se implementa un nuevo tipo de guía de onda basada en cristales fotónicos sobre sustratos de bajo coste.
- ❑ Estructuras Metamateriales basadas en SRR/CSRR. Se trata de medios artificialmente creados, mediante la inclusión de partículas de tamaño menor a la longitud de onda de la energía electromagnética radiada sobre ellas. Dichos medios son capaces de mostrar un comportamiento equivalente a tener una constante dieléctrica negativa ( $\epsilon < 0$ ) o a tener un valor de permeabilidad magnética negativa ( $\mu < 0$ ). Cuando de manera simultánea se consigue para un cierto ancho de banda de operación que tanto  $\epsilon < 0$  como  $\mu < 0$ , se habla de un medio zurdo. En el trabajo de tesis descrito en este informe, se proponen por primera vez medios metamateriales en tecnología plana convencional de alta frecuencia. El objetivo es obtener un comportamiento selectivo en frecuencia empleando configuraciones de tamaño reducido.

## 3. Desarrollo

El desarrollo del trabajo de tesis ha venido marcado por una clara tendencia experimental. Para ello, en primer lugar, se ha procedido a estudiar de manera detenida los fenómenos físicos presentes en los medios metamateriales. Acto seguido, se ha analizado la estructura de los campos electromagnéticos en las guías planas bajo estudio (tanto guía microstrip como guía coplanar, fundamentalmente) y se ha aprovechado las características particulares de las mismas para acentuar el carácter selectivo en frecuencia. Las herramientas que se han empleado han sido fundamentalmente simuladores electromagnéticos bi-dimensionales, como 2.5 dimensionales como simulaciones de onda completa. Para ello, dado el gran abanico de circuitos que se han analizado, se han empleado soluciones comerciales como Agilent ADS<sup>TM</sup> (simulación de sistema y simulación EM por el método de los momentos) o CST MW Studio<sup>TM</sup> (simulación EM 3D integración finita en el dominio temporal), así como en una solución programada de manera íntegra en el

Grupo de Investigación de Microondas de la UPNA, basada en FDTD. A continuación se va describir las distintas secciones que componen el trabajo desarrollado en la tesis.

### 3.1 Estructuras EBG Microstrip

Las primeras estructuras que se analizan son estructuras EBG en tecnología microstrip. El patrón periódico se talla en el plano de masa de la guía, modulando de esta manera la impedancia de línea. El resultado es un carácter selectivo en frecuencia, con una banda rechazada función del periodo de separación entre agujeros (análogo a una reflexión Bragg) y del radio y número de los agujeros que componen el patrón periódico de perturbación. La propuesta realizada consistía en un patrón de perturbación bidimensional. No obstante, el campo electromagnético se encuentra altamente confinado alrededor de la tira conductora central. Por ello, se propone la modificación consistente en eliminar las filas laterales y emplear exclusivamente la fila central. El resultado comparativo de medida entre ambos prototipos se presenta en la figura 1 y como se puede observar, los resultados son prácticamente idénticos. Para poder obtener valores de rechazo muy elevados es necesario contar con un número de periodos considerable. Desde el punto de vista práctico, esto es problemático dado que lleva a estructuras demasiado largas, que adolecen de poca estabilidad mecánica. Con el fin de solventar este problema, se propone una versión compacta de la estructura EBG 1D. Para ello, se adopta una topología en forma de meandro. De esta manera, se incrementa la huella del circuito en términos de superficie, reduciendo de manera considerable la longitud del mismo. Los resultados de simulación vs. Medida para un prototipo de estas características se presenta en la figura 3.1.2.

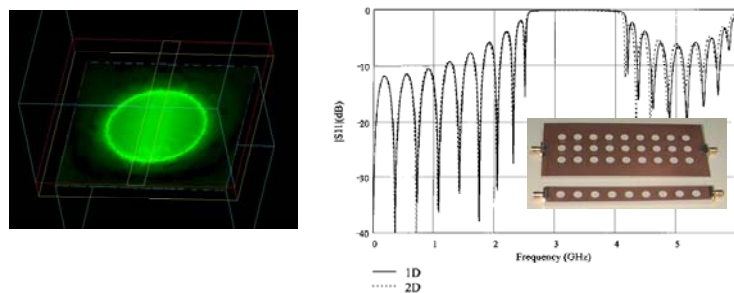


Figura 3.1.1: Densidad de campo eléctrico (izq) en un periodo en el plano de masa de la tira microstrip. Resultado medido de  $S_{11}$  para un EBG 2D y un EBG 1D. Ambos resultados son prácticamente iguales.

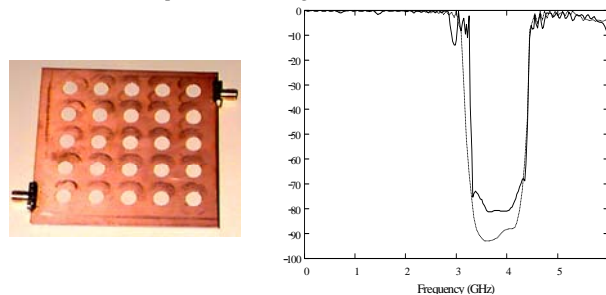


Figura 3.1.2: Prototipo EBG microstrip compacto, con una retícula de 5x5 celdas. A la derecha, se muestran los resultados de simulación (trazo continuo) frente a los de medida (trazo punteado) del parámetro  $S_{21}$ .

### 3.2 Guía de Cristal Fotónico en tecnología plana

Tras haber explorado la viabilidad de implementar estructuras EBG en tecnología microstrip, se analiza la posibilidad de emplear estructuras de cristal fotónico con el fin de guiar energía electromagnética. Dicha planteamiento ya se ha probado con éxito en el régimen óptico, en el afán de obtener sistemas de guiado con radios de curvatura muy bajos, útiles para interconexiones pequeñas y muy densificadas (como las que se pueden encontrar en un circuito integrado). De manera análoga, se ha implementado la guía de cristal fotónico sobre un sustrato de bajo coste. Para ello, tras obtener las dimensiones de la estructura periódica (mediante una resolución mediante diferencia finitas barriendo los vectores de onda sobre la zona irreducible de Brillouin, programado por el autor de la tesis en Matlab), se introduce en el sustrato convencional. El acceso a la nueva guía se efectúa por puertos microstrip, con el fin de garantizar su integración con circuitos convencionales. La guía se obtiene al introducir un defecto lineal (i.e., quitar una fila de agujeros) en el interior. De esta manera, la guía equivalente presenta condiciones de confinamiento superior e inferior dadas por las láminas conductoras que recubren el sustrato y las condiciones de confinamiento laterales dadas por la estructura de cristal fotónico que rodea el defecto lineal. Dicha estructura se ha simulado por simulación electromagnética completa, obteniendo tanto la transmitividad de la guía como una visión del confinamiento en términos de densidad de energía eléctrica. Se ha fabricado un prototipo mediante el empleo de una fresadora numérica. Todos los resultados se presentan en la figura 3.2.1 Cabe destacar la presencia de una resonancia entorno a los 5.3GHz, dado por una resonancia transversal Bragg, que en la comunidad científica se ha denominado mini stop band y que ya ha sido corroborada su existencia en el rango óptico.

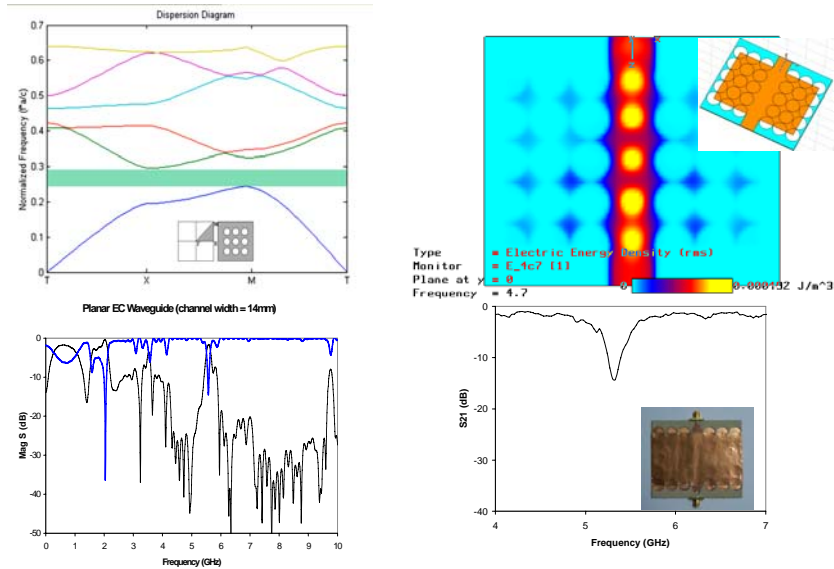


Figura 3.2.1: *Imagen superior izquierda-* cálculo de diagrama de bandas para una estructura de cilindros de aire embebido en un sustrato dieléctrico. La franja denota la posición de la banda de rechazo para modos con polarización eléctrica vertical. *Imagen superior derecha-* simulación de la densidad de energía eléctrica al introducir un defecto lineal en un cristal electromagnético con retícula cuadrada y delimitado por planos de masa en la parte superior e inferior. *Imagen inferior izquierda-* resultado de simulación para una guía con defecto. Se observa transmisión en la banda de trabajo. *Imagen inferior derecha-* resultado de medida para un prototipo de fabricado de bajo coste.

### 3.3 Estructuras EBG en tecnología coplanar

Tras las pruebas realizadas en tecnología microstrip, se plantea la posibilidad de reproducir dichos resultados en otro tipo de guía plana. De esta manera, se han propuesto en la tesis diversas configuraciones en tecnología coplanar. Este tipo de guía presenta una serie de ventajas frente a microstrip, tales como menor dispersión (ampliando el rango frecuencial de operación) así como una configuración uiplanar, permitiendo conexionado sencillo entre la tira conductora central y los planos de masa laterales. Una de las aplicaciones más interesantes consiste en cargar periódicamente con elementos inductivos o capacitivos la guía coplanar. De esta manera, es posible obtener una característica selectiva en frecuencia, empleada en dispositivos tales como filtros, desfases y multiplicadores de frecuencia en el rango de ondas milimétricas. Generalmente, dichos dispositivos se implementan con elementos concentrados (por ejemplo, con diodos Varicap). Este tipo de elementos presentan inconvenientes tales como la presencia de frecuencias de autoresonancia no evitables por inductancias/capacidades parásitas o la dificultad de general dispositivos que presenten siempre el mismo valor de impedancia. Por ello, se propone en la tesis la implementación de dispositivos cargados periódicamente con elementos capacitivos integrados en la propia guía coplanar. Un paso adicional, para mejorar el nivel de rechazo del dispositivo es la inclusión de una estructura EBG (sintetizada como modulación de la impedancia de línea al ajustar la anchura de la pista central de manera selectiva), dando lugar a una topología de doble periodicidad.

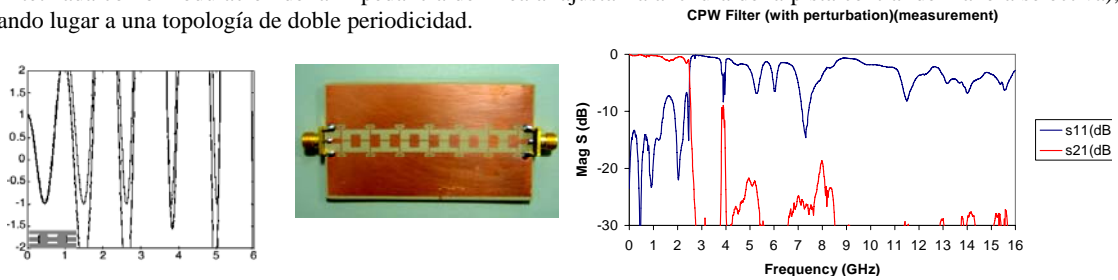


Figura3.3.1: Estructura de doble periodicidad EBG en tecnología coplanar. El diagrama de dispersión (obtenido por expansión de matrices  $T$ ) muestra un rechazo en diversas bandas frecuenciales. Al introducirle el EBG, dicho rechazo es altamente potenciado, ofreciendo una reducción armónica considerable. El resultado es una estructura que opera como filtro paso bajo con bajas pérdidas de inserción y con reducción de un elevado número de espúreos.

Un prototipo ha sido diseñado y confirmado su funcionamiento mediante cálculo de su diagrama de dispersión (mediante concatenación de matrices de transmisión  $T$ ) así como mediante simulación electromagnética completa. Se ha fabricado el prototipo mediante un proceso de ataque foto-químico sobre sustrato Rogers RO3010, mostrado en la figura 3.3.1. La medida muestra la magnitud del parámetro  $S_{11}$  (rojo) y del parámetro  $S_{21}$  (azul), observándose un comportamiento paso bajo con una elevada pendiente de rechazo, baja pérdidas de inserción y rechazo de múltiples espúreos (la medida ratifica el rechazo de 5 armónicos). La medida muestra un espúreo entorno a 4GHz, debido a la aparición de una pequeña diferencia de potencial que excita el modo slot de la guía coplanar. Con el fin de poder mitigar la influencia de dicho modo, se añaden vías de sustrato, para precisamente anular dicha diferencia de potencial. Cabe mencionar que se trata de una técnica novedosa en la introducción de este tipo de elementos, ya que generalmente se implementan suspendidas en el aire ("air bridges"), lo cual tiene como consecuencia una estructura más endeble mecánicamente. El resultado de medida, mostrado en la figura 3.3.2 confirma la idoneidad de incluir los

vías de substrato como medio para poder mitigar la excitación del modo slot y por lo tanto minimizar la componente espúrea no deseada.

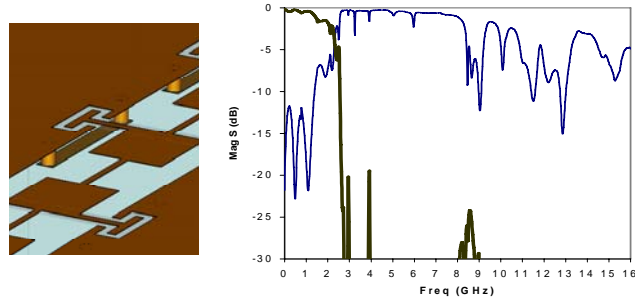


Figura 3.3.2: Detalle de los vías de substrato introducidos en la estructura de doble periodicidad. Se muestra el resultado de medida, con una disminución de 10 dB de la componente espúrea a 4 GHz.

### 3.4 Metamateriales en tecnología plana basados en SRR y CSRR.

El otro gran bloque de la tesis se centra en la implementación de estructuras metamateriales mediante el empleo de resonadores de anillos cortados (Split Ring Resonators, SRR). Dichas partículas habían sido propuestas a finales de los años 90 con el fin de poder obtener fuertes respuestas magnéticas empleando metales comunes. De esta manera, al excitar adecuadamente mediante un campo magnético axial la partícula SRR, se obtiene un comportamiento equivalente a un medio que tiene una permitividad magnética negativa. La frecuencia en la cual se comporta como un medio equivalente de  $\mu < 0$  se llama frecuencia de resonancia cuasi-estática, mientras que la frecuencia en la cual vuelve a ser positiva se llama frecuencia de plasma. Cabe destacar que dicha frecuencia de resonancia viene fijada fundamentalmente por las dimensiones de los anillos y el espacio de separación entre ellos. La dimensión de las partículas SRR es considerablemente inferior a la longitud de onda de operación (régimen sub- $\lambda$ ). En el año 2000, se propuso una combinación de SRR + medio de finos hilos metálicos. Haciendo un ajuste adecuado de la frecuencia de la radiación incidente, es posible obtener para un rango frecuencial determinado un comportamiento equivalente de un medio que presenta de manera simultánea un valor de  $\epsilon < 0$  y  $\mu < 0$ . Esto en sí mismo ya supuso un hito, dado que no se había encontrado desde que se postulase su existencia (a finales de los años 60 por V. Veselago) un medio que cumpliera dichos requisitos. El medio conjunto de hilos + SRR tenía una configuración volumétrica, siendo excitados mediante ondas planas generadas por una antena de bocina. Dicha configuración no es viable para su introducción en mercados masivos de sistemas de telecomunicaciones, en donde predomina el empleo de tecnología plana. Por ello, se proponen varias configuraciones por primera vez en esta tesis en tecnología plana, con el fin de poder en última instancia generar dispositivos integrables en sistemas de comunicaciones convencionales. La primera propuesta consiste en introducir anillos SRR en una CPW. Cabe destacar que las líneas de campo magnético son normales a la interfaz aire-dieléctrico de esta guía, facilitando la excitación de las partículas SRR. Múltiples pruebas se realizaron con el fin de posicionar de manera óptima los anillos en la guía CPW. Dos alternativas son posibles: situar los anillos en el canal de aire que separa cada plano de masa a la tira conductora central o posicionar los anillos en la cara inferior de la guía, en el eje de cada uno de los planos de masa. Esta segunda opción ha sido la seleccionada de manera definitiva, dado que permite diseñar una guía CPW con una impedancia de línea de  $50\Omega$  (o de la impedancia de línea que fuese necesaria) y por lo tanto minimizar las pérdidas de inserción. El prototipo final fabricado (por ataque foto-químico sobre substrato LX-250) así como los valores simulados y medidos de  $S_{21}$  se muestran en la figura 3.4.1. Las dimensiones del SRR han sido previamente ajustados para ofrecer una frecuencia central de resonancia en la vecindad de 8 GHz, mediante una aproximación semi-analítica. Se observa un elevado rechazo en la banda de operación y pérdidas de inserción muy bajas fuera de dicha banda.

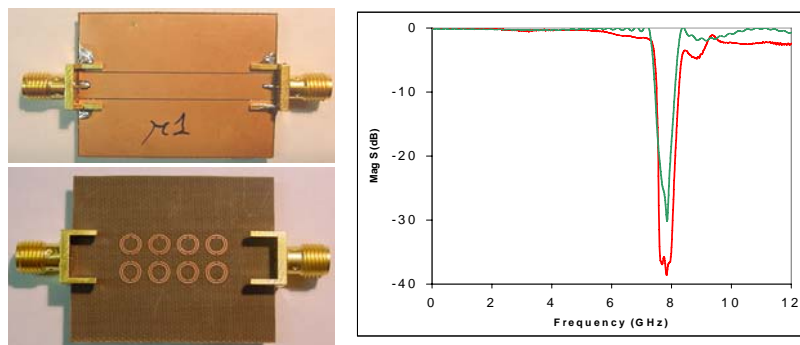


Figura 3.4.1: Guía coplanar cargada con anillos SRR. Se comparan los resultados del parámetro  $S_{21}$  de simulación EM completa (trazo verde) con los resultados de medida (trazo rojo). Se aprecia un valor de rechazo de pendiente elevada en la frecuencia de trabajo de los anillos, mientras que fuera de ella las pérdidas de inserción se mantienen bajas.

El siguiente paso que se ha dado es el de intentar implementar un medio zurdo en tecnología CPW. Para ello, se ha tomado como punto de partida la estructura cargada con anillos SRR y se le añade un medio de finos hilos conductores que unen los planos de masa con la tira conductora central. Dado que este tipo de configuración

almacena una gran cantidad de líneas de corriente, su comportamiento se asemeja al de inductor en derivación (y por lo tanto, a una estructura paso alto).

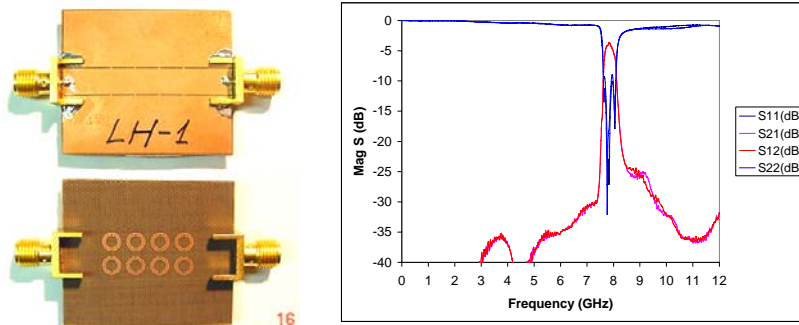


Figura 3.4.2: Prototipo de medio zurdo (hilos + SRR) en CPW. Se presentan los resultados de medida. Cabe destacar que ahora se observa una banda de paso donde previamente había una banda rechazada. Las pérdidas de inserción no superan 3.5 dB, el mejor valor obtenido hasta la fecha en la demostración empírica de un medio zurdo.

Seleccionando de manera adecuada la orientación relativa de los anillos con respecto a dichos hilos (para evitar acoplo magneto-eléctrico en las respuestas a los campos H y E que ha de presentar de manera individual cada estructura), es posible obtener un medio zurdo. De esta manera, se propone el prototipo de la figura 3.4.2. Se puede observar que ahora hay una banda pasante, precisamente en la posición frecuencial en la que previamente había una banda rechazada. Las pérdidas de inserción no superan 3.5 dB en la región de operación del SRR, lo que supone el mejor valor obtenido en la demostración experimental de cualquier medio zurdo hasta la fecha.

Con el fin de aumentar el ancho de banda del dispositivo SRR+hilos, se propone el empleo de resonadores sintonizados a distintas frecuencias, próximas entre sí. Este esquema, válido en el caso sólo de SRR, no funciona de manera adecuada en el medio conjunto, debido a que el acoplo serie de los resonadores adyacentes no implica un aumento del ancho de banda del resonador total equivalente. Por ello, se propone acoplar los resonadores en paralelo. Para ello, se propone una estructura bi-capa, que consiste en dos guías coplanares adosadas, que comparten los planos de masa y la tira conductora central. En la parte inferior de cada CPW individual, se colocan SRR de tamaños ligeramente diferentes. De esta manera, es posible lograr la excitación simultánea de ambos conjuntos de anillos y por lo tanto el incremento de ancho de banda. En la figura 3.4.3 se muestra el prototipo fabricado mediante ataque fotoquímico, en donde se puede ver la cara superior e inferior con sus anillos de distinto tamaño. Los resultados de simulación y medida confirman un ancho de banda cercano a 1GHz, lo que supone un incremento entorno al 25% con respecto al caso de anillos de un único tamaño. Cabe destacar una reducción adicional en la frecuencia de la banda pasante, dado por el incremento en el valor permitividad dieléctrica efectiva, al existir un porcentaje mayor de líneas de campo en el interior del dieléctrico que en el caso de una CPW convencional.

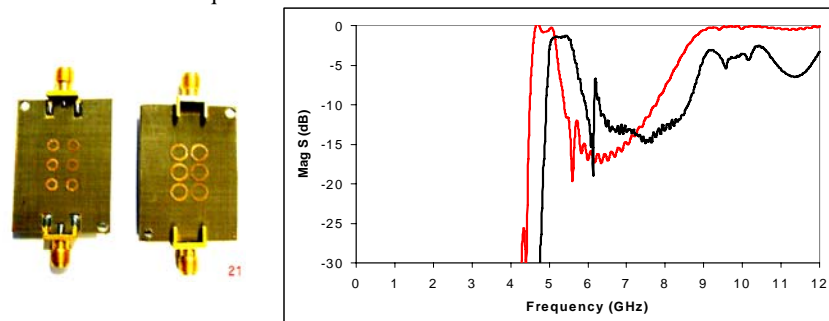


Figura: 3.4.3: Prototipo de estructura bi-capa. Consiste en dos guías CPW "adosadas" por los planos de masa y línea central común. Los resultados tanto de simulación (traza roja) como de medida (traza negra) del parámetro  $S_{21}$  revelan un aumento del ancho de banda de aproximadamente un 25% con respecto al prototipo original.

Las estructuras presentadas hasta el momento en tecnología CPW funcionan de manera adecuada por la configuración de las líneas de campo H que excitan los SRR. Haciendo una aproximación similar en tecnología microstrip, se observa que los resultados son peores. Esto es debido a que las líneas de campo H se encuentran altamente confinadas con respecto a las fuentes del campo, que son las corrientes que recorren la pista conductora central. No obstante, las líneas de campo E inciden de manera predominante en el plano de masa de la guía microstrip, en particular justo debajo de la tira conductora central. Teniendo esto en cuenta y con el fin de salvar la dificultad al excitar con campo H, se propone en la tesis una partícula novedosa, denominada anillo SRR complementario, CSRR. Consiste en el dual de la partícula SRR, en donde se sustituye el aire por el metal y viceversa. De esta manera, por el principio de dualidad, es posible obtener una respuesta similar invirtiendo los papeles del campo E y campo H. Es posible, por lo tanto, obtener el carácter selectivo en frecuencia dado por los SRR. En este caso, precisamente por el principio de dualidad y por el intercambio de papeles entre el campo E y campo H, ya no se tratará de un medio con un valor de  $\mu < 0$  sino de  $\epsilon < 0$ . Los resultados de medida para un prototipo de guía microstrip cargada de anillos CSRR se muestra en la figura 3.4.4. La magnitud del parámetro  $S_{21}$  revela un valor de rechazo que alcanza los 60 dB a la frecuencia de operación que originalmente tendría un SRR equivalente cargando una guía coplanar. Dicha aproximación ofrece buenos resultados, tras comparar los modelos circuitales equivalentes tanto del SRR como del CSRR.

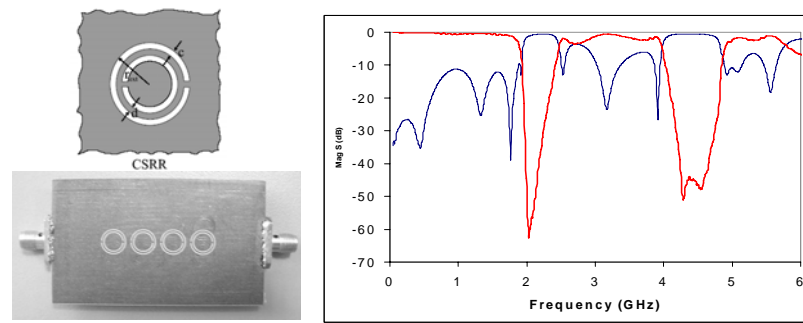


Figura 3.4.4: Esquema del CSRR y prototipo fabricado de una línea microstrip cargada de CSRR. Los resultados de medida muestran un valor de rechazo considerable entorno a la frecuencia de resonancia de los CSRR. El rechazo que se observa a más alta frecuencia es debida a la resonancia dinámica (correspondiente a un perímetro equivalente a  $\lambda/2$ ) de los anillos.

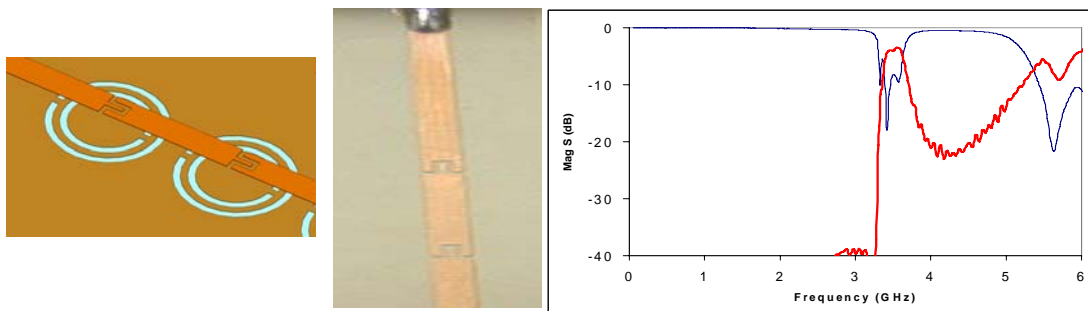


Figura 3.4.5: Prototipo de medio zurdo en tecnología microstrip. Los resultados de medida muestran una banda pasante, de manera análoga al observado en tecnología coplanar.

Tras comprobar la viabilidad de cargar con anillos CSRR una guía microstrip, se plantea la posibilidad de poder sintetizar un medio zurdo, de manera análoga al prototipo propuesto en guía coplanar. Dado que se han invertido los papeles del campo E y H, es ahora necesario buscar una topología capaz de ofrecer un valor equivalente de  $\mu < 0$ . Para ello, se propone en vez de cargar con inductores en derivación emplear elementos capacitivos serie. De esta manera, nace el prototipo que se muestra en la figura 3.4.5. La línea central conductora ha sido cargada con elementos en forma de T, con el fin de reducir las capacidades parásitas típicas en condensador de ranura microstrip. La medida confirma la existencia de la banda pasante, fruto del comportamiento zurdo de la línea CSRR + elementos en T.

#### 4. Conclusiones

El desarrollo de esta tesis doctoral ha estado centrada en la búsqueda de topologías adecuadas con el fin de implementar estructuras metamateriales en tecnología plana convencional. Tras el análisis de los resultados obtenidos mediante simulación y medida, se han extraído las siguientes conclusiones:

- Es factible implementar estructuras EBG 1D en tecnología microstrip, reduciendo de manera considerable el tamaño del dispositivo, con una respuesta frecuencial prácticamente idéntica.
- Si es necesario emplear un elevado número de periodos en una estructura EBG (para tener un elevado rechazo), se puede emplear un topología compacta, basada en una configuración en meandros.
- Se ha implementado una guía de cristal fotónico sobre sustrato de bajo coste y con puertos de acceso microstrip, con un grado de pérdidas moderado en la banda pasante.
- Se han implementado estructuras EBG en tecnología coplanar. Empleando una topología basada en una doble periodicidad, es posible obtener una respuesta paso bajo con una reducción considerable del contenido armónico inherente a la periodicidad. Se propone el empleo de vías de sustrato, de manera alternativa a los air bridges
- Se ha implementado un medio de  $\mu < 0$  en guía coplanar, al cargarlo adecuadamente con partículas SRR. Se obtiene un dispositivo con una banda rechazada y una banda pasante con bajas pérdidas de inserción.
- Se ha implementado un medio zurdo al combinar SRR y un medio de finos hilos metálicos que conectan los planos de masa con la tira conductora central. Se obtiene una banda pasante con unas pérdidas de inserción que rozan los 3.5 dB, el resultado experimental con menores pérdidas obtenido de un medio zurdo hasta la fecha.
- Se ha incrementado el ancho de banda de la banda pasante del medio zurdo en CPW al emplear una topología de doble capa, con agrupaciones de anillos con dimensiones ligeramente diferentes.
- Se ha propuesto como alternativa para la línea microstrip una nueva partícula denominada anillo SRR complementario, o CSRR. Se trata de la estructura dual al anillo convencional, con lo que se excita con un campo E con incidencia normal a la partícula.
- Se ha implementado un medio zurdo en tecnología microstrip, combinado partículas CSRR con elementos capacitivos en forma de T. Dichas inclusiones se encuentran en serie en la propia tira microstrip.

En todos los casos, se han realizado simulaciones así como medidas de los prototipos fabricados, confirmando las hipótesis analíticas iniciales.

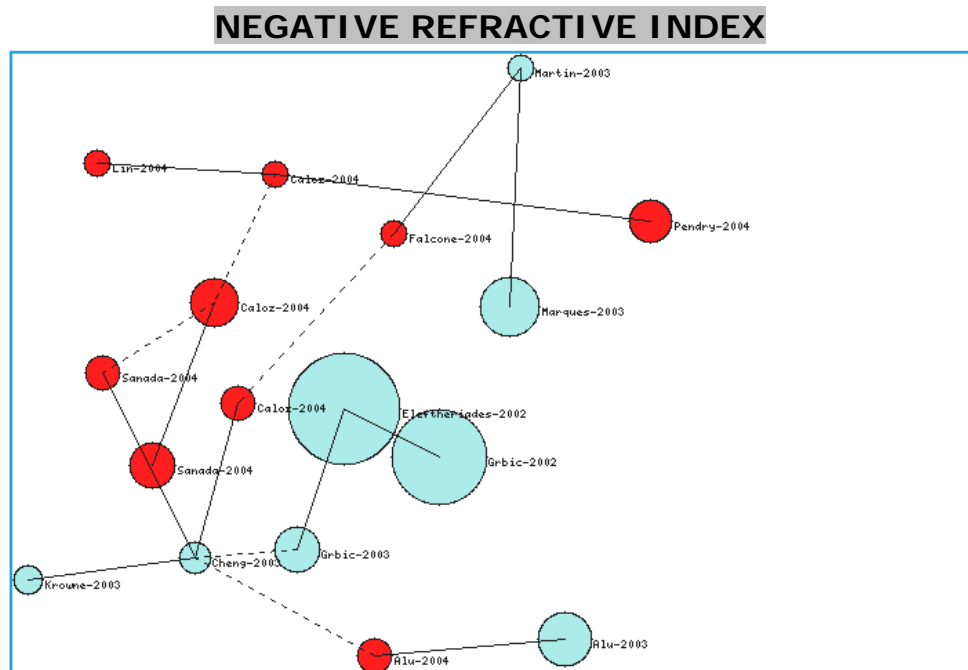
## 5. Originalidad

La originalidad de este trabajo viene marcado por el carácter vanguardista de la temática de metamateriales. Cabe destacar que las estructuras iniciales de EBG en tecnología plana se exponen a finales de los años 90, no siendo hasta entrado en siglo XXI cuando comienzan a verse aplicaciones comerciales de los mismos. En cuanto a los medios zurdos, cabe destacar que la primera validación experimental del fenómeno se constata en el año 2000, no siendo hasta el año 2002 en el que se obtiene mediante el modelo de línea de transmisión una confirmación en tecnología plana.

Esta tesis doctoral cuenta con los siguientes elementos que ratifican la originalidad de las propuestas que se recogen dentro de ella:

1. Es la primera tesis doctoral del mundo que abarca la temática de metamateriales y además, con un enfoque claramente experimental. Cabe destacar que esta tesis doctoral se encuentra actualmente colgada de la página web de referencia en este campo de investigación ([www.metamaterials.net](http://www.metamaterials.net)), que es la única tesis que se encuentra de momento alojada en dicha página y que ya ha **ido descargada (desde el 12 de enero de 2006) más de 100 veces.**
2. El trabajo de investigación ha dado lugar a **41 publicaciones en revistas internacionales** presentes en el Scitation Index.
3. El trabajo de investigación ha dado lugar a más de **60 ponencias en congresos internacionales**, siendo varias de ellas ponencias invitadas.
4. El trabajo de investigación ha dado lugar a **11 ponencias en congresos nacionales.**
5. El trabajo de investigación ha recibido hasta la fecha **97 citas**, estando excluidas las auto-citas.
6. La temática de metamateriales ha sido clasificada por el ISI Web of Knowledge como **temática de gran relevancia científica en Septiembre de 2005.** Al consultar los trabajos más relevantes en este campo de investigación, figuran dos artículos frutos del trabajo de esta tesis doctoral. El extracto de noticia, procedente de su página web, se muestra a continuación:

“This Research Front on **NEGATIVE REFRACTIVE INDEX** from the field of Computer Science was selected for mapping from the list of Fast Moving Fronts for September 2005. The map is a diagrammatic representation of the 17 core papers comprising the front. Each circle represents a highly cited paper whose bibliographic information is displayed when the user clicks on the circle. The lines between circles represent the strongest co-citation links for each paper (that is, indicating that the papers are frequently cited together). Papers close to each other on the map are generally more highly co-cited)”



**Label:** Falcone-2004

**Title:** Left handed coplanar waveguide band pass filters based on bi-layer split ring resonators

**Journal:** IEEE MICROW WIREL COMPON LETT, 14: (1) 10-12 JAN 2004

**Citations:** 4

**Authors:** Falcone, F; Martin, F; Bonache, J; Marques, R; Lopetegi, T; Sorolla, M

**Addresses:**

Publ Univ Navarre, Elect Engn Dept, Campus Arrosadia, E-31006 Pamplona, Spain

Publ Univ Navarre, Elect Engn Dept, E-31006 Pamplona, Spain

Univ Autonoma Barcelona, Dept Elect Engn, Barcelona 08193, Spain

Univ Sevilla, Dept Elect & Electromagnet, Seville 41012, Spain

**Label:** Martin-2003

**Title:** Miniaturized coplanar waveguide stop band filters based on multiple tuned split ring resonators

**Journal:** IEEE MICROW WIREL COMPON LETT, 13: (12) 511-513 DEC 2003

**Citations:** 4

**Authors:** Martin, F; Falcone, F; Bonache, J; Marques, R; Sorolla, M

**Addresses:**

Univ Autonoma Barcelona, Dept Elect Engn, E-08193 Barcelona, Spain

Univ Autonoma Barcelona, Dept Elect Engn, E-08193 Barcelona, Spain

Publ Univ Navarre, Dept Elect Engn, E-31006 Pamplona, Spain

Univ Sevilla, Dept Elect & Electromagnetismo, E-41012 Seville, Spain

**Fuente:** [www.esi-topics.com/fmf/maps/september2005-map.html](http://www.esi-topics.com/fmf/maps/september2005-map.html)

Es destacable el comentario de los editores en el número especial sobre metamateriales publicado en el IEEE Microwave Transactions on Theory and Techniques, de abril de 2005 y cuyo extracto se reproduce de manera original a continuación:

*“.....A newer contribution is a dual of such split ring resonators, called a complementary split-ring resonator, which is fabricated by etching the negative image of a split ring resonator in the ground plane of a microstrip line underneath the conductor strip. The complementary resonator gives a negative value of  $\epsilon$ , rather than  $\mu$ .....”.*

*(pag. 1414, IEEE MTT Special Issue on Metamaterial Structures, Phenomena and Applications, Vol. 53, N. 4, April 2005)*

Por último, cabe destacar que artículos fruto del trabajo de esta tesis doctoral han recibido el **premio CST a la mejor publicación científica empleando MW Studio**, tanto en el año 2003 como en el año 2005.

<http://www.cst.com/Content/Company/UniAward2003.aspx>

<http://www.cst.com/Content/Company/UniAward2005.aspx>

## 6. Resultados

La tesis doctoral ha estado claramente orientada desde un principio a la validación experimental sobre tecnologías de uso cotidiano en sistemas de comunicaciones de alta frecuencia de los modelos analizados. De esta manera, cabe hacer los siguientes comentarios sobre la metodología de trabajo experimental así como de los resultados posteriormente medidos:

1. Se han empleado herramientas de simulación de corte profesional para la validación de los prototipos en fase de desarrollo. De esta manera, se logra ajustar de manera precisa el comportamiento del dispositivo posteriormente fabricado. Las herramientas de simulación empleadas han sido las siguientes:
  - Agilent Advanced Design System (ADS)<sup>TM</sup>. Se trata de una herramienta de análisis y diseño tanto a nivel de sistema como de componente. Se han realizado tanto simulaciones electromagnéticas bidimensionales como 2.5D (incluido el efecto de grosores de los metales en el caso de no ser tratados como conductores perfectos), como posteriores simulaciones lineales mediante la concatenación de bloques de matrices de parámetros S.
  - Computer Simulation Technology Microwave Studio<sup>TM</sup>, programa de simulación electromagnética de onda completa, basado en integración finita en el dominio temporal. Se trata de una herramienta de simulación de carácter volumétrico, diseñada para poder caracterizar la respuesta en frecuencia de multitud de topologías diferenciadas. Dicha herramienta se ha empleado tanto para simulación de circuitos planos, como para la implementación de dispositivos basados en guía de onda rectangular como coaxial y el análisis mediante onda plana de metasuperficies.
2. Una vez que se han realizado las simulaciones necesarias para poder tener caracterizado el dispositivo, se ha procedido a la fabricación de los circuitos. Para ello, se han empleado las siguientes técnicas:
  - Tallado mediante el empleo de una microfresadora numérica, disponible en el Laboratorio de Microondas de la Universidad Pública de Navarra. Se han realizado circuitos a una cara como a dos caras, con el correspondiente proceso de alineamiento entre capas.
  - Ataque foto-químico, realizado en la Universidad Autónoma de Barcelona así como en la empresa Omicron, dentro de la ejecución de diversos proyectos de investigación. Ha sido determinante contar con la colaboración de Omicron, en especial para la fabricación de las metasuperficies, que contaban con más de 1000 elementos SRR o CSRR en total.

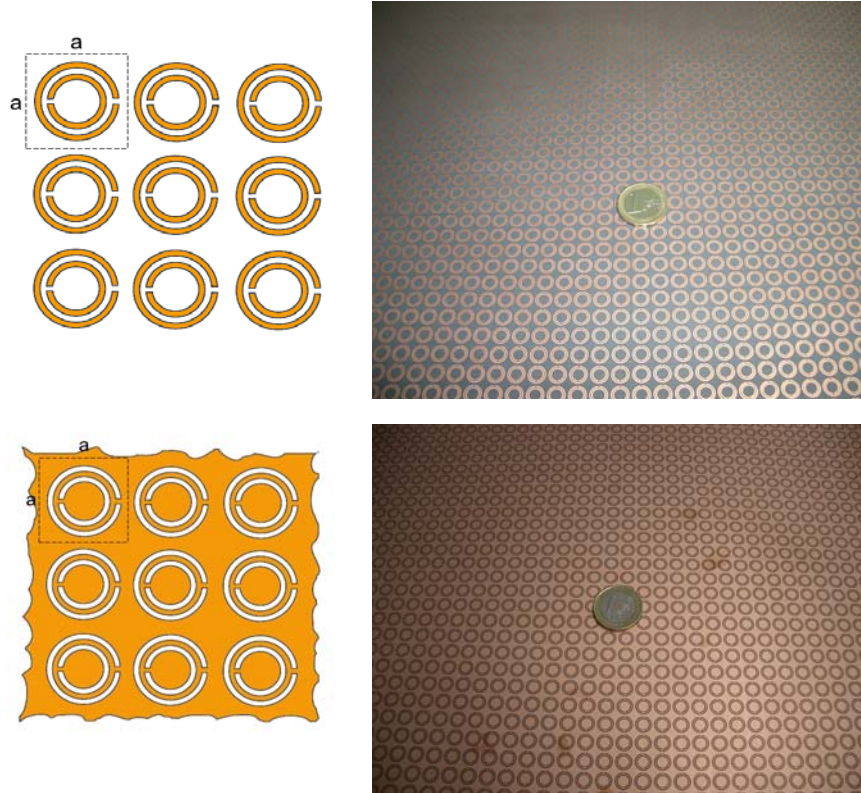


Figura 6.1: Metasuperficies fabricadas mediante ataque fotoquímico. La foto de la puerta superior muestra una metasuperficie de SRR (estructura de rechazo de banda) mientras que la inferior muestra una metasuperficie basada en CSRR (de rechazo de banda)

3. Tras la fabricación de los prototipos, se han realizado las medidas con el siguiente instrumental:

- Analizador Vectorial de Redes Agilent VNA 8722 (hasta 40GHz) y 8753 (hasta 6 GHz), en función de la necesidad de la medida. Se han realizado calibraciones de doble puerto completas, con kit de calibración de 3.5mm (para el analizador hasta 6 GHz) y con kit de 2.4mm D en caso de hacer medidas hasta 40 GHz.
- Analizador AB-Milimetre, sobre banco cuasi-óptico, con diodos detectores hasta 260GHz. Este instrumento (del que existen 50 en todo el mundo) se ha empleado para la caracterización de las metasuperficies y en la demostración de fenómenos de transmisión extraordinaria presente en ciertas estructuras periódicas.

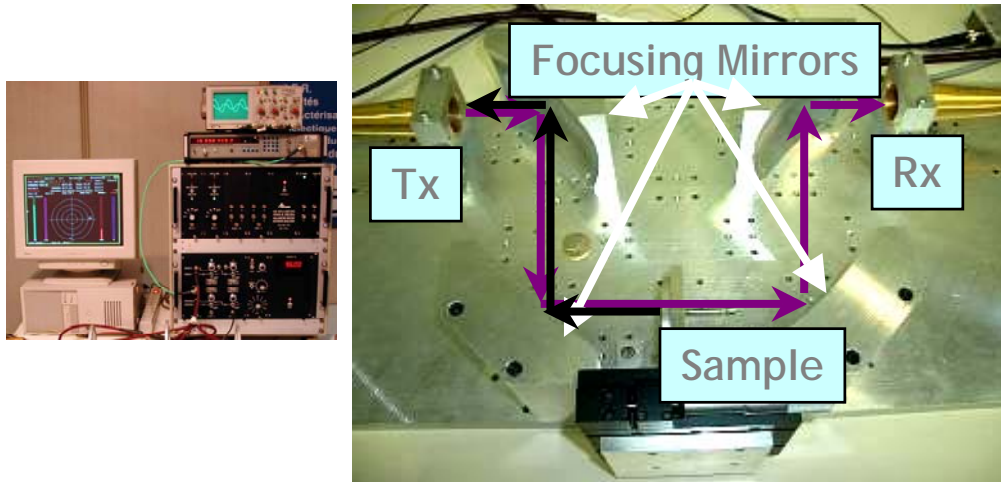


Figura 6.2: Banco cuasi-óptico junto con analizador AB-Milimetre, hasta 260GHz de frecuencia de operación.

Los prototipos que se han medido han dado lugar a los siguientes resultados de carácter experimental y aplicado:

- Estructura EBG 1D, con una reducción de superficie de 2 veces con respecto a cualquier prototipo propuesto con anterioridad. Este resultado tiene la relevancia de ser el paso previo para poder desarrollar multitud de otros dispositivos con este tipo de técnica, tales como ecualizadores de fase y transformadores de Fourier.
- Estructura EBG compacta mediante el empleo de meandros. Posibilita estructuras con un elevado número de periodos, dando valores de rechazo medidos de 80 dB. Existen resonancias en la banda pasante debidas a la lógica desadaptación que se produce al introducir el meandro y que se han corregido mediante un detallado análisis de la respuesta en fase de la estructura.
- Implementación de un resonador EBG 1D completamente planar, con un factor de calidad entorno a 130.
- Se ha medido una guía de cristal fotónico fabricada sobre un sustrato de coste moderado y mediante un proceso convencional de fresado. Se observa una banda de paso con pérdidas de inserción entorno a 2dB, así como una resonancia Bragg transversal.
- Se han medido estructuras CPW con periodicidad simple (sirven como filtros paso bajo) así como con doble periodicidad (que sirven como filtro paso bajo con elevado rechazo armónico). Los resultados, una vez corregida la excitación del modo slot mediante el empleo de vías de sustrato, ofrecen una banda pasante con pérdidas de inserción máximas de 1dB, elevada pendiente de rechazo y componentes armónicas hasta el 5º armónico inferiores a 20 dB.
- Se han medido guías CPW cargadas con anillos SRR, ofreciendo valores de rechazo sobre una banda frecuencial del orden de 35 dB, mientras que fuera de la banda rechazada, las pérdidas de inserción eran realmente bajas. Viendo el resultado de simulación de onda completa para las densidades de corriente dentro y fuera de la banda de operación, se observa que los anillos son "invisibles" fuera de su frecuencia de resonancia. Esto posibilita su inclusión en un circuito (por ejemplo, filtro o antena) sin alterar su respuesta en frecuencia.

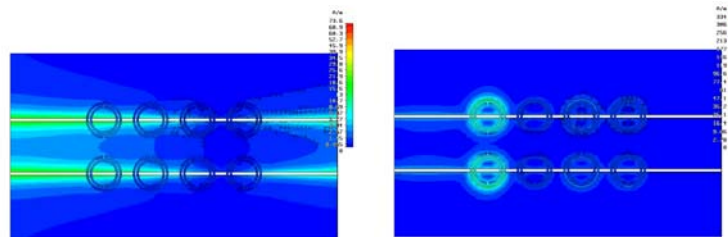


Figura 6.3: Valores de densidad de corriente eléctrica para una guía CPW cargada con anillos SRR. La figura de la derecha muestra el comportamiento fuera de la banda de operación de los anillos, mientras que el de la izquierda muestra lo que ocurre dentro de la banda rechazada. Este último caso muestra la excitación del primer conjunto de anillos, mientras que en el caso inicial los anillos no son "vistos" por la onda incidente a la estructura, facilitando su integración en un circuito sin alterar su respuesta.

- Se ha medido un prototipo de medio zurdo implementado en CPW, tras integrar SRR y un medio de hilos conectados entre los planos de masa y la tira conductora central. Las pérdidas de inserción no superan los 3.5 dB

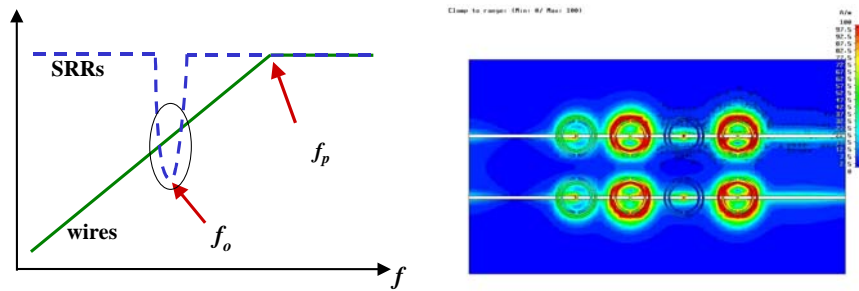


Figura 6.4: Medio SRR+hilos en guía CPW. La combinación de ambos medios, adecuadamente sintonizados en frecuencia, permite obtener un valor simultáneo de  $\epsilon < 0$  (medio de hilos)  $\mu < 0$  (SRR operando en las inmediaciones de la resonancia cuasi-estática).

- Se ha medido un prototipo de banda ancha tanto en rechazo (guía CPW cargada con SRR múltiple sintonizados) así como un medio zurdo con ancho de banda ampliado (mediante el empleo de una doble capa de anillos SRR que comparten planos de masa y tira conductora central). En ambos casos hay un incremento de ancho de banda de operación de un 25%, con baja pérdidas de inserción en ambos casos.
- Se ha medido una guía microstrip cargada con anillos complementarios CSRR, ofreciendo para 4 periodos un valor de rechazo de 60 dB, con un tamaño total de circuito de 20mm para un rechazo a la frecuencia aproximada de 2 GHz. Posteriormente, se ha implementado un medio zurdo añadiendo los capacitores en forma de T, obteniendo una banda pasante con pérdidas de inserción del orden de 3.5 dB, de manera análoga al caso original en CPW. Posteriormente, basado en esta nueva guía metamaterial, se ha propuesto la implementación de acopladores de onda inversa, con una ganancia de 10 dB en medida sobre su acoplo convencional.

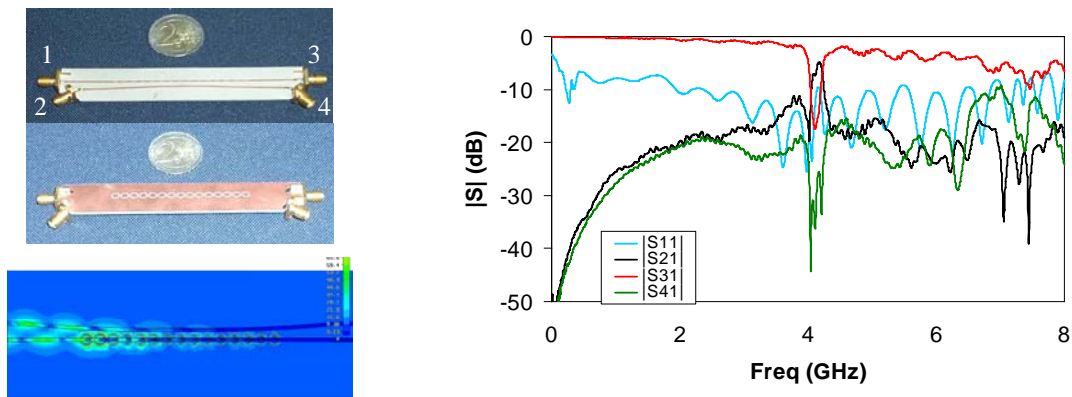


Figura 6.5: Acoplador de onda inversa implementado en tecnología microstrip. Se muestra el resultado medido, obteniendo un valor mayor de acoplo de onda inversa ( $S_{21}$ )

- Se han medido fenómenos de radiación sobre líneas simétricas como asimétricas cargadas con anillos SRR. Para ello, se ha empleado un montaje básico, basado en el empleo del VNA con TX/RX, acoplando sondas antenas de bocina a los puertos de entrada y salida. Posteriormente, se realizó un barrido angular, observando la verificación de la radiación inversa, así como la viabilidad de emplear este tipo de estructuras como elementos radiantes de reducido tamaño, encontrando aplicación en sistemas portátiles como en elementos radiantes de antenas de estación base-equipo fijo, al posibilitar mayores ganancias por factor de array con las mismas dimensiones.

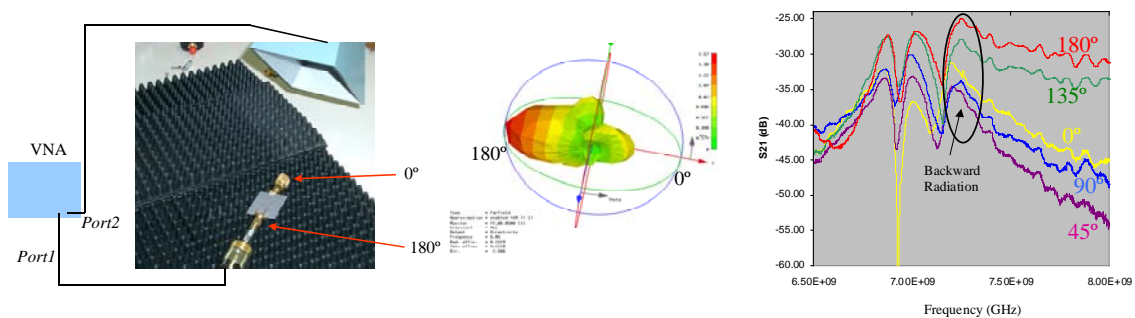


Figura 6.6: Montaje para la medida de radiación en un prototipo metamaterial en tecnología CPW. El resultado de simulación en campo lejano muestra una clara tendencia de radiación inversa, mientras que las medidas efectuando barrido angular confirman esta predicción.

## 7. Aplicabilidad

El trabajo de investigación realizado con objeto de esta tesis doctoral ha estado encaminado en la búsqueda de implementaciones de bajo coste y reducido tamaño en tecnología plana de alta frecuencia. El objetivo es realizar dispositivos para sistemas de comunicaciones inalámbricos, en un rango espectral desde 1 GHz hasta aproximadamente 60GHz. Los dispositivos que se han propuestos son los siguientes:

1. Filtros de rechazo de banda de elevada selectividad y de bajas pérdidas de inserción.
2. Filtros paso banda de bajas pérdidas de inserción y anchos de banda fraccionales superiores al 20%
3. Filtros paso bajo de baja pérdidas de inserción y elevado rechazo armónico.
4. Duplexores basados en divisores de potencia y posterior filtrado selectivo en frecuencia, mediante el empleo de celdas SRR/CSRR
5. Acopladores de onda inversa, empleando líneas metamateriales basadas en CSRR + elementos en T capacitivos.
6. Acopladores multifrecuencia, basados en el empleo de líneas metamateriales con dimensiones modificadas para poder operar en diversos rangos frecuenciales.
7. Resonadores planares, tanto en tecnología microstrip como en tecnología CPW.
8. Antenas basadas en elementos SRR y CSRR. Al ser elementos de operación sub-lambda, son potenciales antenas de tamaño muy reducido.
9. Superficies selectivas en frecuencia, basadas en la aplicación de láminas dieléctricas en las que se tallan distintas configuraciones de SRR y CSRR. La aplicación de este tipo de estructuras es de filtros rechazo de banda o filtros paso banda de onda plana, polarizadores, giradores, etc.

Cabe destacar que los circuitos que emplean dispositivos SRR/CSRR presentan un **tamaño muy pequeño**, debido a su régimen de operación sub-lambda. Por ello, son muy interesantes estos dispositivos desde el punto de vista de la **miniaturización**.

Las estructuras son escalables dimensionalmente, lo que implica una variación de su frecuencia de trabajo. En el caso de estructuras EBG, el rango de ondas milimétricas es el más interesante desde el punto de vista de prestaciones frente al tamaño del circuito. En el caso de SRR/CSRR, la limitación fundamental viene determinada en la tolerancia de proceso de fabricación. No obstante, es factible implementar dispositivos en tecnología plana convencional hasta el límite operativo del sustrato, dado por la excitación de modos de onda superficial y que en función del grosor del sustrato puede llegar hasta 20GHz. No obstante, es factible incorporar los conceptos desarrollados en la tesis sobre otro tipo de guías, tales como enterradas CPW o tecnología RF-MEMS, lo que puede potencialmente aumentar las frecuencias de trabajo varias decenas de GHz.

Todas estas aplicaciones vienen recogidas en **4 patentes**, cuyas referencias se muestran a continuación:

Título: Filtro de Microondas y Ondas Milimétricas.  
Inventores: José Antonio Marcotegui Iturmendi, Jesús Illescas Otermin y Eduardo Jarauta Ayensa de CONATEL SL, Francisco Falcone Lanas de la Universidad Pública de Navarra.  
Solicitantes: Universidad Pública de Navarra y CONATEL SL.  
Número de solicitud: 200600214  
Fecha solicitud: 6 de febrero de 2006.

Título: Filtro y Superficies Selectivas en Frecuencia.  
Inventores: Miguel Beruete Díaz, Francisco Falcone Lanas, Noelia Ortiz Pérez de Eulate y Mario Sorolla Ayza de la Universidad Pública de Navarra, Juan Domingo Baena Doello, y Ricardo Marqués Sillero de la Universidad de Sevilla, Juan Fernando Martín Antolín, Joan García García, Jordi Bonache Albacete y Ignacio Gil Galf de la Universitat Autònoma de Barcelona.  
Número de solicitud: P-200402064  
Fecha solicitud: 20 de Agosto de 2004.

Título: Filtros y antenas de microrondas y milimétricas basados en resonadores de anillos abiertos y en líneas de transmisión planares.  
Inventores: Juan Fernando Martín Antolín, Jorge Bonache Albacete, Ricardo Marqués Sillero, Juan Domingo Baena Doello, Jesús Martel Villagrán, Francisco Medina Mena, Francisco Falcone Lanas, José María Lopetegi Beregaña, Miguel Beruete Díaz, Mario Sorolla Ayza.  
Solicitantes: Universitat Autònoma de Barcelona, Universidad Pública de Navarra y Universidad de Sevilla  
Número de solicitud: 200302282  
Fecha solicitud: 25 de septiembre de 2003.  
Se prevee la explotación por parte de la empresa CONATEL. Extendida a PCT

Título: Filtro distribuido de paso bajo para microondas y milimétricas que comprende una estructura de guía de ondas coplanar y cristales electromagnéticos. Procedimiento para el diseño de dicho filtro.  
Inventores: Juan Fernando Martín Antolín, Francisco Falcone Lanas y Mario Sorolla Ayza.  
Solicitantes: Universitat Autònoma de Barcelona y Universidad Pública de Navarra.  
Número de solicitud: 200202503.  
Fecha solicitud: 31 de octubre de 2002.

Además, el trabajo de esta tesis ha sido desarrollado bajo los *siguientes proyectos de investigación:*

1. Metamateriales para Elementos Radiantes en Microondas y Milimétricas, TEC2005-06923-C03-01
2. Investigación y desarrollo de antenas para estaciones base utilizando el fenómeno de Transmisión extraordinaria” (FIT-330210-2005-4)
3. Red Española de Metamateriales (REME), TEC2004-21322-E
4. Estudio y control de la propagación de microondas y de ondas milimétricas por metamateriales, FIT-070000-2004-933 (Contrato PROFIT, Ministerio de Industria)
5. Participación en primera anualidad del proyecto Eureka 2895 “TELEMAC”, TIC2002 12906 E (Proyecto EUREKA-TELEMAC)
6. Study and control of microwave and millimeter wave propagation by using metamaterials, Eureka 2895 TELEMAC (Proyecto EUREKA-TELEMAC)
7. Aplicaciones de Cristales Fotónicos, Micromecanizado y MEMS en Microondas y Milimétricas, TIC2002-04528-C02-01, METALOMEMS (Plan Nacional I+D, Ministerio de Ciencia y Tecnología)
8. Analizador Vectorial de Redes en Milimétricas (Ministerio de Ciencia y Tecnología y FEDER al 50%)
9. Estudio de Cristales Fotónicos y sus Aplicaciones en Telecomunicaciones (Proyecto de Investigación, Gobierno de Navarra)
10. Aplicación de Tecnología Photonic Band-Gap en el Desarrollo de Antenas y Circuitos de Microondas y Milimétricas para Comunicaciones (Plan nacional, TIC1999-0292, CICYT)

**Anexo 1: Contribuciones a Revistas Internacionales**

Autores (p.o. de firma): Miguel Beruete, Francisco Falcone, Manuel Freire, Ricardo Marqués, Juan D. Baena  
Título: "**Electroinductive waves in chains of complementary metamaterial elements**"  
Ref. revista / Libro: **Applied Physics Letters**.  
Volumen: 88, No. 3, Páginas, inicial: final: Fecha: February 2006.

Autores (p.o. de firma): Miguel Beruete Díaz, I. Campillo, J. S. Dolado, J. E. Rodríguez-Seco, E. Perea, Francisco Falcone, Mario Sorolla Ayza  
Título: "**Dual-Band Low-Profile Corrugated Feeder Antenna**"  
Ref. revista / Libro: **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**.  
Volumen: 54, No. 2, Páginas 10, inicial: 340 final: 350 Fecha: February 2006.

Autores (p.o. de firma): E. Jarauta, M.A.G. Laso, T. Lopetegi I, F. Falcone, M. Beruete, J. D. Baena, A. Marcotegui, J. Bonache, J. García, R. Marqués and F. Martín  
Título: "**Novel Microstrip Backward Coupler with Metamaterial Cells for Fully Planar Fabrication Techniques**"  
Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**.  
Volumen: Accepted, No. , Páginas inicial final Fecha: 2006.

Autores (p.o. de firma): Jordi Bonache, Ferran Martín, Francisco Falcone, Juan D. Baena, Txema Lopetegi, Joan García-García, Miguel A. G. Laso, Ignacio Gil, Antonio Marcotegui, Ricardo Marqués, and Mario Sorolla  
Título: "**Application of complementary split-ring resonators to the design of compact narrow band-pass structures in microstrip technology**"  
Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**.  
Volumen: 46, No. 5, Páginas 5, inicial: 508 final: 512 Fecha: September 2005.

Autores (p.o. de firma): J. Bonache, F. Martín, F. Falcone, J. García-García, I. Gil, T. Lopetegi, M. A. G. Laso, R. Marqués, F. Medina, and M. Sorolla  
Título: "**Compact coplanar waveguide band-pass filter at the S-band**"  
Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**.  
Volumen: 46, No. 1, Páginas, inicial: 33 final: 35 Fecha: July 2005.

Autores (p.o. de firma): N. Ortiz, J. D. Baena, M. Beruete, F. Falcone, M. A. G. Laso, T. Lopetegi, R. Marqués, F. Martín, J. García-García, and M. Sorolla  
Título: "**Complementary split-ring resonator for compact waveguide filter design**"  
Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**.  
Volumen: 46, No. 1, Páginas, inicial: 88 final: 92 Fecha: July 2005.

Autores (p.o. de firma): Joan García-García, Ferran Martín, Francisco Falcone, Jordi Bonache, Juan D. Baena, Ignacio Gil, Esteve Amat, Txema Lopetegi, Miguel A. G. Laso, Antonio Marcotegui, Mario Sorolla, and Ricardo Marqués  
Título: "**Microwave Filters with Improved Stop Band based on Sub-wavelength Resonators**"  
Ref. revista / Libro: **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**.  
Volumen: 53, No. 6, Páginas, inicial: 1997 final: 2006 Fecha: June 2005

Autores (p.o. de firma): M. Beruete, I. Campillo, J. S. Dolado, J.E. Rodríguez-Seco, E. Perea, F. Falcone, and M. Sorolla  
Título: "**Low-Profile Corrugated Feeder Antenna**"  
Ref. revista / Libro: **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**.  
Clave: A Volumen: 4, No. , Páginas 3, inicial: 378 final: 380 Fecha: 2005.

Autores (p.o. de firma) M. Beruete, I. Campillo, J. S. Dolado, J. E. Rodríguez-Seco, E. Perea, F. Falcone, and M. Sorolla  
Título: "**Very Low-Profile "Bull's Eye" Feeder Antenna**"  
Ref. revista / Libro: **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**.  
Clave: A Volumen: 4, No. , Páginas 4, inicial: 365 final: 368 Fecha: 2005.

Autores (p.o. de firma): Juan D. Baena, Jordi Bonache, Ferran Martín, Ricardo Marqués, Francisco Falcone, Txema Lopetegui, Miguel A.G. Laso, Joan García-García, Ignacio Gil, Maria Flores and Mario Sorolla  
Título: **"Equivalent circuit models for split ring resonators and complementary split ring resonators coupled to planar transmission lines"**  
Ref. revista / Libro: **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.**  
Volumen: 53, No. 4, Páginas, inicial: 1451 final: 1461 Fecha: April 2005.

Autores (p.o. de firma): Ricardo Marqués, Juan D. Baena, Miguel Beruete, Francisco Falcone, Txema Lopetegui, Mario Sorolla, Ferran Martín, Joan García-García  
Título: **"Ab initio analysis of frequency selective surfaces based on conventional and complementary split rings resonators "**  
Ref. revista / Libro: **Journal of Optics A: Pure and Applied Optics.**  
Volumen: 7, No. 2, Páginas, inicial: S38 final: S43 Fecha: January 2005.

Autores (p.o. de firma): J. García-García, J. Bonache, I. Gil, F. Martín, R. Marqués, F. Falcone, T. Lopetegui, M. A. G. Laso, y M. Sorolla  
Título: **"Comparison of Electromagnetic Band Gap and Split Ring Resonator Microstrip Lines as Stop Band Structures"**  
Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters.**  
Volumen: 44 , No. 4, Páginas, inicial: 376 final: 379 Fecha: February 2005.

Autores (p.o. de firma): F. Falcone, T. Lopetegui, M. A. G. Laso, J. D. Baena, J. Bonache, M. Beruete, R. Marqués, F. Martín, and M. Sorolla  
Título: **"Babinet principle applied to metasurface and metamaterial design"**  
Ref. revista / Libro: **Physical Review Letters.**  
Volumen: 93, No. 19, Páginas, inicial: 197401-1 final: 197401-4 Fecha: Nov 2004.

Autores (p.o. de firma): Txema Lopetegui, Miguel A. G. Laso, Francisco Falcone, Ferran Martín, Jordi Bonache, Joan García, Leticia Pérez-Cuevas, Mario Sorolla, and Marco Guglielmi  
Título: **"Microstrip "Wiggly-Line" Bandpass Filters With Multispurious Rejection"**  
Ref. revista / Libro: **IEEE Microwave and Wireless Components Letters.**  
Volumen: 14, No. 11, Páginas, inicial: 531 final: 533 Fecha: Noviembre 2004.

Autores (p.o. de firma): J. García-García, J. Bonache, F. Falcone, J.D. Baena, F. Martín, I. Gil, T. Lopetegui, M.A.G. Laso, A. Marcotegui, R. Marqués and M. Sorolla  
Título: **"Stepped-impedance lowpass filters with spurious passband suppression"**  
Ref. revista / Libro: **IEE Electronic Letters.**  
Clave: A Volumen: 40 , No. 14 , Páginas, inicial: 881 final: 882 Fecha: 8 July 2004.

Autores (p.o. de firma): F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, J. García-García, R. Marqués, and M. Sorolla  
Título: **"Stop Band and Band Pass Characteristics in Coplanar Waveguides Coupled to Spiral Resonators"**  
Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters.**  
Clave: A Volumen: 42 , No. 5, Páginas, inicial: 386 final: 388 Fecha: 5 Sept. 2004.

Autores (p.o. de firma): J. García-García, F. Martín, F. Falcone, J. Bonache, I. Gil, T. Lopetegui, M.A.G. Laso, M. Sorolla and R. Marqués  
Título: **"Spurious passband suppression in microstrip coupled line band pass filters by means of split ring resonators"**  
Ref. revista / Libro: **IEEE Microwave and Wireless Components Letters.**  
Clave: A Volumen: 14, No. 9, Páginas, inicial: 416 final: 418 Fecha: Sept.2004.

Autores (p.o. de firma): F. Falcone, T. Lopetegui, J.D. Baena, R. Marqués, F. Martín and M. Sorolla  
Título: **"Effective negative- $\epsilon$  stop-band microstrip lines based on complementary split ring resonators"**  
Ref. revista / Libro: **IEEE Microwave and Wireless Components Letters.**  
Clave: A Volumen: 14 , No. 6, Páginas, inicial: 280 final: 282 Fecha: June 2004.

Autores (p.o. de firma): J. Martel, R. Marqués, F. Falcone, J.D. Baena, F. Medina, F. Martín and M. Sorolla  
Título: **"A new LC series element for compact band pass filter design"**  
Ref. revista / Libro: **IEEE Microwave and Wireless Components Letters.**  
Clave: A Volumen: 14 , No. 5, Páginas, inicial: 210 final: 212 Fecha: May 2004.

Autores (p.o. de firma): F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, R. Marqués, T. Lopetegui and M. Sorolla

Título: "**Left handed coplanar waveguide band pass filters based on bi-layer split ring resonators**"

Ref. revista / Libro: **IEEE Microwave and Wireless Components Letters**.

Clave: A Volumen: 14 , No. 1 , Páginas, inicial: 10 final: 12 Fecha: January 2004.

Autores (p.o. de firma): F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, R. Marqués and M. Sorolla

Título: "**Coplanar waveguide structures loaded with split ring resonators**"

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Lett.**

Clave: A Volumen: 40 , No. 1, Páginas, inicial: 3 final: 6 Fecha: 5 January 2004.

Autores (p.o. de firma): F. Martín, J. Bonache, I. Gil, F. Falcone, T. Lopetegi, M.A.G., Laso and M. Sorolla

Título: "**Compact spurious free CPW band pass filters based on electromagnetic bandgap structures**"

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**

Clave: A Volumen: 40, No. 2, Páginas, inicial: 146 final: 148 Fecha: January 2004.

Autores (p.o. de firma): F. Martín, F. Falcone, J. Bonache, T. Lopetegi, R. Marqués and M. Sorolla

Título: "**Miniaturized CPW stop band filters based on multiple tuned split ring resonators**"

Ref. revista / Libro: **IEEE Microwave and Wireless Components Letters**.

Clave: A Volumen: 13 , No. 12, Páginas, inicial : 511, final : 513 Fecha: December 2003.

Autores (p.o. de firma): F. Martín, F. Falcone, J. Bonache, R. Marqués and M. Sorolla

Título: "**A new split ring resonator based left handed coplanar waveguide**"

Ref. revista / Libro: **Applied Physics Lett.**

Clave: A Volumen: 83 , No. 22, Páginas, inicial: 4652 final: 4654 Fecha: 1 December 2003.

Autores (p.o. de firma): F. Martín, F. Falcone, J. Bonache, M.A.G. Laso, T. Lopetegi, and M. Sorolla

Título: "**New CPW low pass filter based on a slow wave structure**"

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Lett.**

Clave: A Volumen: 38 , No. , Páginas, inicial: 190 final: 193 Fecha: August 2003.

Autores (p.o. de firma): F. Martín, F. Falcone, J. Bonache, M.A.G. Laso, T. Lopetegi, and M. Sorolla

Título: "**Dual electromagnetic bandgap CPW structures for filter applications**"

Ref. revista / Libro: **IEEE Microwave and Wireless Components Letters**.

Clave: A Volumen: 13 , No. , Páginas, inicial: 393 final: 395 Fecha: 2003.

Autores (p.o. de firma): F. Martín, J. L. Carreras, J. Bonache, T. Lopetegi, M.A.G. Laso, F. Falcone, and M. Sorolla

Título: "**Frequency Tuning in Electromagnetic Bandgap Nonlinear Transmission Lines**"

Ref. revista / Libro: **Electronic Letters**.

Clave: A Volumen: 39, No. 5, Páginas, inicial: 440 final: 442 Fecha: March 2003.

Autores (p.o. de firma): Ferran Martín, Francisco Falcone, Jordi Bonache, Txema Lopetegi, Miguel A. G. Laso, J. L. Carreras, and Mario Sorolla

Título: "**New electromagnetic bandgap nonlinear coplanar waveguides**"

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**.

Clave: A Volumen: 37, No. 6, Páginas, inicial: 397 final: 401 Fecha: Junio 2003

Autores (p.o. de firma): Ferran Martín, Francisco Falcone, Txema Lopetegi, Miguel A. G. Laso, and Mario Sorolla

Título: "**Analysis of the reflection properties in electromagnetic bandgap coplanar waveguides loaded with reactive elements**"

Ref. revista / Libro: **Progress in Electromagnetic Research**

Clave: A Volumen: PIER 42 , No. , Páginas, inicial: 27 final: 48 Fecha: 2003.

Autores (p.o. de firma): Ferran Martín, Francisco Falcone, Jordi Bonache, Txema Lopetegi, Miguel A. G. Laso, and Mario Sorolla

Título: "**Periodic-loaded sinusoidal patterned electromagnetic bandgap coplanar waveguides**"

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**.

Clave: A Volumen: 36, No. 3, Páginas, inicial: 181 final: 184 Fecha: February 2003

Autores (p.o. de firma): Ferran Martín, Francisco Falcone, Jordi Bonache, Txema Lopetegi, Miguel A.G. Laso, and Mario Sorolla

Título: "**New periodic-loaded electromagnetic bandgap coplanar waveguide with complete spurious passband suppression**"

Ref. revista / Libro **IEEE Microwave and Wireless Components Letters**.

Clave: A Volumen: 12, No. 11, Páginas, inicial: 435 final: 437 Fecha: November 2002

Autores (p.o. de firma): F. Falcone, T. Lopetegi, M. A. Laso, and M. Sorolla

Título: “**Novel Photonic Crystal Waveguide in Microwave Printed Circuit Technology**”

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters.**

Clave: A Volumen: 34, No. 6 Páginas, inicial: 462 final: 466 Fecha: September 20, 2002.

Autores (p.o. de firma): T. Lopetegi, M. A. Laso, R. Gonzalo, M. J. Erro, F. Falcone, D. Benito, M. J. Garde, and M. Sorolla

Título: “**Electromagnetic Crystals in Microstrip Technology**”

Ref. revista / Libro: **Journal of Optical and Quantum Electronics.**

Clave: A Volumen: 34 Páginas, inicial: 279 final: 295 Fecha: Marzo 2002

Autores (p.o. de firma): Txema Lopetegi, Miguel A.G. Laso, Maite Irisarri, Maria J. Erro Francisco Falcone, and Mario Sorolla

Título: “**Optimization of Compact Photonic Bandgap Microstrip Structure**”,

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**

Clave: A Volumen: 26 Páginas, inicial: 211 final: 216 Fecha: 20 Agosto 2000

Autores (p.o. de firma): Txema Lopetegi, Miguel A.G. Laso, Maria J. Erro, David Benito, M.J. Garde, Francisco Falcone and Mario Sorolla

Título: “**Novel Photonic Bandgap Microstrip Structures Using Network Topology**”

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters.**

Clave: A Volumen: 25 Páginas, inicial: 33 final: 36 Fecha: 5 Abril 2000

Autores (p.o. de firma): Jaione Tirapu, Txema Lopetegi, Miguel A.G. Laso, Maria J. Erro, Francisco Falcone and Mario Sorolla

Título: “**Study of the Delay Characteristics of 1-D Photonic Bandgap Microstrip Structures**”,

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**

Clave: A Volumen: 23 Páginas, inicial: 346 final: 349 Fecha: 20 Diciembre 1999

Autores (p.o. de firma): Francisco Falcone, Txema Lopetegi, Maite Irisarri, Miguel A.G. Laso, Maria J. Erro and Mario Sorolla

Título: “**Compact Photonic Bandgap Microstrip Structure**”,

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**

Clave: A Volumen: 23 Páginas, inicial: 233 final: 236 Fecha: 20 Noviembre 1999

Autores (p.o. de firma): Francisco Falcone, Txema Lopetegi, and Mario Sorolla

Título: “**1-D and 2-D Photonic Bandgap Microstrip Structure**”

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters.**

Clave: A Volumen: 22, N° 6 Páginas, inicial: 411 final: 412 Fecha: 20 Septiembre 99

Autores (p.o. de firma): Miguel A.G. Laso, Maria J. Erro, David Benito, M.J. Garde, Txema Lopetegi, Francisco Falcone, and Mario Sorolla

Título: “**Analysis and Design of 1-D Photonic Bandgap Microstrip Structures Using a Fibre Grating Model**”

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters.**

Clave: A Volumen: 22, N° 4 Páginas, inicial: 223 final: 226 Fecha: 20 Agosto 99

Autores (p.o. de firma): Txema Lopetegi, Francisco Falcone, Beatriz Martínez, Ramón Gonzalo, and Mario Sorolla

Título: “**Improved 2-D Photonic Bandgap Structures in Microstrip Technology**”

Ref. revista / Libro: **Microwave and Optical Technology Letters**

Clave: A Volumen: 22, N° 3 Páginas, inicial: 207 final: 211 Fecha: 5 Agosto 99

Autores (p.o. de firma): Txema Lopetegi, Francisco Falcone, and Mario Sorolla

Título: “**Bragg Reflectors and Resonators in Microstrip Technology based on Electromagnetic Crystal Structures**”,

Ref. revista / Libro: **International Journal on Infrared and Millimeter Waves.**

Clave: A Volumen: 20 No. 6, Páginas, inicial: 1091 final: 1102 Fecha: Junio 1999

### **Contribuciones a Congresos Internacionales**

1. F. Falcone, M. Beruete, M. Sorolla, "Simulation of planar metamaterial devices and metasurfaces employing Split Ring Resonators (SRR) and Complementary Split Ring Resonators (CSRR)", **Invited paper**, CST European User Group Conference, Boppard, Germany, March 2006
2. M. Beruete, F. Falcone, M. Sorolla, "Frequency response and dispersion diagrams of single and stacked hole arrays and metallic disks", CST European User Group Conference, Boppard, Germany, March 2006
3. I. Gil, J. Bonache, M. Gil, J. García-García, F. Martín, J. D. Baena, M. Freire, R. Marqués, F. Falcone, T. Lopetegui, M. A. G. Laso and M. Sorolla, "METAMATERIAL TRANSMISSION LINES BASED ON COMPLEMENTARY SPLIT RINGS RESONATORS: A REVIEW", Accepted as **Invited paper** in PIERS 2006, Tokio, Japan, October 2006
4. Miguel Navarro, Francisco Falcone, Txema Lopetegui, M. A. Gómez-Laso, Miguel Beruete, Israel Arnedo, Eduardo Jarauta, J. A. Marcotegui and Mario Sorolla. "Interaction Effects between Electromagnetic Bandgap Structures and Split Ring Resonators in Microstrip Technology" Accepted at Melecon 2006, Torremolinos, Spain, May 2006
5. M. Beruete, M. J. Freire; R. Marques, F. J. Falcone; J. D. Baena, "Electroinductive Waves on Chains of Resonators" Accepted at PIERS 2006, Cambridge, USA, March 2006
6. I. Arrendó, T. Lopetegui D. Benito; F. J. Falcone, M. A. G. Laso; "Band-stop Filters in Microstrip Technology with Nonperiodic Frequency Responses", Accepted at PIERS 2006, Cambridge, USA, March 2006
7. M. A. G. Laso, T. Lopetegui, F. Falcone, E. Jarauta, J. D. Baena, J. Bonache, J. García-García, J. Illescas, A. Marcotegui, F. Martín, R. Marques, M. Sorolla "Split Ring Resonators and Complementary Split Ring Resonators: Left-handed Lines and Applications in Microwave Planar Technology", PIERS 2005, Hangzhou, China, Agosto 2005
8. I. Gil, J. Bonache, J. García-García, F. Falcone and F. Martín, "Metamaterials in Microstrip Technology for Filter Applications", 2005 IEEE AP-S International Symposium and URSI Meeting, Washington, USA, June 2005.
9. Miguel Beruete, Francisco Falcone, Juan Baena, Ricardo Marqués, Mario Sorolla, "Frequency Selective Surfaces Based on Complementary Spiral Resonators", Workshop on Metamaterials for Microwave and Optical Technology, San Sebastián, Spain, July 2005
10. Francisco Falcone, Miguel Beruete, Juan Baena, Miguel Angel Gómez Laso, Txema Lopetegui, Jordi Bonache, Ferran Martín, Ricardo Marques, Mario Sorolla, "Coupling effects in Left-Handed structures in Coplanar Waveguide Technology", Workshop on Metamaterials for Microwave and Optical Technology, San Sebastián, Spain, July 2005
11. J. García-García, J. Bonache, F. Falcone, I. Gil, J. D. Baena, T. Lopetegui, M. A. G. Laso, F. Martín, R. Marqués, A. Marcotegui, M. Sorolla, "SPURIOUS PASSBAND SUPPRESSION IN MICROWAVE FILTERS BY MEANS OF SUB-WAVELENGTH RESONANT STRUCTURES", 34th European Microwave Conference, October 2004, Amsterdam
12. J. D. Baena, J. Bonache, F. Martín, R. Marqués, F. Falcone, T. Lopetegui, M. Beruete, M. A. G. Laso, J. García-García, F. Medina, M. Sorolla, "Modified and complementary split ring resonators for metasurface and metamaterial design", *Bianisotropics 2004*, September 2004, Ghent
13. F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, J. Baena, T. Lopetegui, M. A. Gómez-Laso, J. García-García, I. Gil, J. A. Marcotegui, R. Marqués, M. Sorolla, "Split ring resonator-based metamaterials in microwave planar circuits", *Bianisotropics 2004*, September 2004, Ghent
14. J. Bonache, F. Martín, J. García, I. Gil, F. Falcone, T. Lopetegui, M. Laso, M. Sorolla, R. Marqués, F. Medina, "Super Compact Split Ring Resonators CPW Band-pass Filters", 2004 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Forth Worth, TX, June 6 – 11, 2004
15. M. Beruete, J. D. Baena, F. Falcone, I. Campillo, J. S., Dolado, T. Lopetegui, M. A. G. Laso, J. Bonache, J. García-García, A. Marcotegui, F. Martín, R. Marqués, and M. Sorolla, "Subwavelength Hole Arrays and Split Ring Resonators Based Metasurfaces for Frequency Selective Surfaces", **Invitada**, 29th IRMMW 2004, Karlsruhe, Germany
16. E. Jarauta, M. A. G. Laso, T. Lopetegui, F. Falcone, M. Beruete, J. D. Baena, J. Bonache, I. Gil, J. García-García, A. Marcotegui, F. Martín, R. Marqués, and M. Sorolla "Metamaterial Microstrip Backward Couplers for Fully Planar Fabrication Techniques", 29th IRMMW 2004, Karlsruhe, Germany
17. M. Beruete, F. Falcone, M. Sorolla, I. Campillo, J. Dolado, L. Martín-Moreno, and F. J. García-Vidal, "Transmission in Cut-Off Hole Arrays", 2004 IEEE AP-S International Symposium and URSI Meeting, Monterey, CA, June 20 – 26, 2004
18. F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, T. Lopetegui, M. A. Gomez-Laso, J. Garcia, N. Gil, M. Sorolla, "Electromagnetic Bandgap Structures in Planar Technology", 2004 IEEE AP-S International Symposium and URSI Meeting, Monterey, CA, June 20 – 26, 2004
19. F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, J. Baena, T. Lopetegui, M. A. Gomez Laso, J. Garcia, I. Gil, R. Marques, M. Sorolla, "Metamaterial Configurations in Coplanar Waveguide", 2004 IEEE AP-S International Symposium and URSI Meeting, Monterey, CA, June 20 – 26, 2004
20. Ricardo Marqués, Juan Antonio Baena, Ferrán Martín, Jordi Bonache, Francisco J Falcone, Txema Lopetegui, Miguel Beruete, Mario Sorolla, "Left-Handed Metamaterial based on Dual Split Ring Resonators in Microstrip Technology", 2004 URSI-EM Conference, Pisa, Italy
21. F. Martín, F. Falcone, T. Lopetegui, J. Bonache, M. A. G. Laso, J. D. Baena, J. García-García, R. Marqués, and M. Sorolla, "Application of split rings resonators and related structures to the miniaturization of planar

- microwave circuits” Proc. Microwave Technology and Techniques Workshop, pp. 31-38. Organized by European Space Agency (ESA), Noordwijk, Netherlands, May 2004.
22. F. Martín, J. Bonache, F. Falcone, J. García-García, J. Martel, R. Marqués and M. Sorolla, “Application of metamaterials to the design of planar microwave filters”, IX Workshop on Microwave Engineering Metamaterials and special materials for electromagnetic applications and Telecommunications, Roma, 5 April, 2004.
  23. Ferran Martín, Francisco Falcone, Jordi Bonache, Juan Baena, Txema Lopetegi, Ricardo Marqués, Mario Sorolla, “Demonstration of Left-handedness in coplanar waveguide technology”, **Invited**, PIERS 2004 Conference, Pisa, Italy.
  24. Francisco Falcone, Ferran Martín, Jordi Bonache, Juan Baena, Txema Lopetegi, Ricardo Marqués, Mario Sorolla, “Negative magnetic permeability media in planar microwave circuits”, **Invited**, PIERS 2004 Conference, Pisa, Italy.
  25. Francisco Falcone, Ferran Martín, Jordi Bonache, Juan Baena, Txema Lopetegi, Miguel Angel Gomez Laso, Joan Garcia, Ricardo Marqués and Mario Sorolla, “Implementation of Bandpass Filters based on Left-Handed Structures in Coplanar Waveguide Technology”, 27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas: Electromagnetic Bandgap, Left-handed Materials, Fractal and Frequency Selective Surfaces, Santiago, Spain, March 2003
  26. María Flores, Francisco Falcone, Ferran Martín, Jordi Bonache, Juan Baena, Txema Lopetegi, Miguel Angel Gomez Laso, Miguel Beruete, J.A. Marcotegui, Joan Garcia, Ricardo Marqués and Mario Sorolla, “Radiation Phenomena in Coplanar Waveguide Metamaterial Structures” 27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas: Electromagnetic Bandgap, Left-handed Materials, Fractal and Frequency Selective Surfaces, Santiago, Spain, March 2003
  27. Francisco Falcone, Ferran Martín, Jordi Bonache, Juan Baena, Miguel Beruete, Txema Lopetegi, Miguel Angel Gomez Laso, Joan Garcia, Ricardo Marqués and Mario Sorolla, “Application of Split Ring Resonator Particles in Planar Circuit Technology”, Accepted at 27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas: Electromagnetic Bandgap, Left-handed Materials, Fractal and Frequency Selective Surfaces, Santiago, Spain, March 2003
  28. F. Martín, F. Falcone, J. Bonache, R. Marqués and M. Sorolla, “Modelling and simulation of coplanar waveguide structures loaded with split ring resonators”, Proceedings of the 14th Workshop on Modelling and Simulation of Electron Devices”, pp. 105-107, Barcelona, October, 2003.
  29. Francisco Falcone, Txema Lopetegi, Miguel A. G. Laso, Ferran Martín, Jordi Bonache, Ricardo Marqués and Mario Sorolla, “Electromagnetic band gaps in planar microwave technology”, **Invited**, Workshop on Optical Properties of Complex Materials over Different Length Scales, Donostia International Physics Center, July 7-11, 2003, San Sebastián, Spain
  30. Francisco Falcone, Txema Lopetegi, Ferran Martín, Jordi Bonache, Ricardo Marqués and Mario Sorolla, “Novel metamaterial configurations in microwave and millimeter wave planar technology”, Workshop on Optical Properties of Complex Materials over Different Length Scales, Donostia International Physics Center, July 7-11, 2003, San Sebastián, Spain
  31. F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, T. Lopetegi, M.A.G. Laso, M. Sorolla, “Analysis of Doubly Periodic Electromagnetic Bandgap Filters in Coplanar Waveguide Technology”, Accepted at ISMOT 2003, Ostrava, Czech Republic.
  32. J.M. Illescas, J.A. Marcotegui, F. Falcone, F. Martín, M.A.G. Laso, T. Lopetegi and M. Sorolla, “Simulation of EBG structures in coplanar waveguide with the aid of FDTD”, Accepted at ISMOT 2003, Ostrava, Czech Republic.
  33. F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, T. Lopetegi, M.A.G. Laso, M. Sorolla, “Multiple Tuned continuous Electromagnetic Bandgap Structures in coplanar waveguide technology”, Accepted at ISMOT 2003, Ostrava, Czech Republic.
  34. F. Falcone, F. Martín, R. Marqués, J. Martel, J. Bonache, T. Lopetegi, M.A.G. Laso and M. Sorolla, “Implementation of Negative  $\mu$  medium in Coplanar Waveguide technology”, Accepted at ISMOT 2003, Ostrava, Czech Republic.
  35. F. Martín, F. Falcone, J. Bonache, R. Marqués and M. Sorolla, “Modelling and simulation of coplanar waveguide structures loaded with split ring resonators” Accepted at MSED 2003, Barcelona, Spain
  36. F. Martín, J. Bonache, I. Gil, F. Falcone, T. Lopetegi, M.A.G. Laso, M. Sorolla, “New Capacitively Coupled Resonator Band Pass Filters Based on Electromagnetic Bandgaps”, Accepted at ICEEA 2003, Torino, Italy
  37. R. Marqués, J.D. Baena, J. Martel, F. Medina, F. Falcone, M. Sorolla and F. Martín “Novel small resonant electromagnetic particles for metamaterial and filter design.”, **Invited**, ICEEA 2003, Torino, Italy
  38. F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, J. Martel, R. Marqués, T. Lopetegi, M.A.G. Laso and M. Sorolla, “Implementation of Negative  $\mu$  structures in Microstrip Technology”, IRMMW 2003, Shiga, Japan, October 2003
  39. F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, T. Lopetegi, M.A.G. Laso and M. Sorolla, “Enhanced doubly-periodic Electromagnetic Bandgap Filter in Coplanar Waveguide Technology”, IRMMW 2003, Shiga, Japan, October 2003
  40. Jesús Martel, Ricardo Marqués, Juan Domingo Baena, Francisco Medina, Francisco Falcone, Mario Sorolla and Ferran Martín, “Application of Modified Split-Ring Resonators to the Design of Small Microstrip and CPW Filters”, PIERS 2003, Hawaii
  41. F. Martín, F. Falcone, R. Marqués, J. Bonache and M. Sorolla, “Transmission Characteristics in Split Ring Resonators based Left-Handed Coplanar Waveguides”, PIERS 2003, Hawaii

42. Miguel A. G. Laso, Txema Lopetegi, Francisco Falcone, Ferran Martin, David Benito, Mario Sorolla, Tapani Narhi “Fourier Transform Using Microstrip Non-Uniform Periodic Structures: Survey of Potential Applications”, PIERS 2003, Hawaii
43. Francisco Falcone, Ferran Martin, Jordi Bonache, Miguel A. G. Laso, Txema Lopetegi, Mario Sorolla “Implementation of Coplanar Waveguide Low Pass Filters by Using Electromagnetic Band-Gap Structures”, PIERS 2003, Hawaii
44. F. Falcone, F. Martin, J. Bonache, T. Lopetegi, M.A.G. Laso and M. Sorolla, “New CPW Filters Based on Double Periodic Structures” Accepted at 3rd ESA Workshop on Millimetre Wave Technology and Applications: circuits, systems, and measurement techniques, May 2003, Espoo, Finland
45. M. Sorolla, A. González, T. Lopetegi, M. A. G. Laso, and F. Falcone “Intrinsic Harmonic Rejection in Active Antennas Using PBG Structures” Proceedings of the 2002 Asia Pacific Microwave Conference, November 2002, Kyoto, Japan
46. F. Falcone, T. Lopetegi, M. Laso, F. Martin, J. Bonache and M Sorolla, “Application of Photonic Bandgap Structures for the implementation of bandpass filters in Coplanar Waveguide technology”, Proceedings of the Microwave Technology and Techniques Workshop, October 2002, European Space Agency, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands
47. F. Martin, F. Falcone, J. Bonache, T. Lopetegi, M. Laso and M Sorolla, “A Novel Photonic Band Gap Periodic Loaded Coplanar Waveguide Structure”, Proceedings of the Microwave Technology and Techniques Workshop, October 2002, European Space Agency, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands
48. A. Gonzalez, T. Lopetegi, M. A. G. Laso, F. Falcone and M. Sorolla, “Active Antenna with Intrinsic Harmonic Rejection by Using a Photonic Crystal”, Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Conference on Infrared and Millimeter Waves, September 2002, San Diego, CA, USA.
49. F. Falcone, F. Martin, J. Bonache, T. Lopetegi, M. A. G. Laso and M. Sorolla, “PBG resonator in Coplanar Waveguide Technology”, Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Conference on Infrared and Millimeter Waves, September 2002, San Diego, CA, USA.
50. F. Martin, F. Falcone, J. Bonache, T. Lopetegi, M. A. G. Laso and M. Sorolla, “New PBG nonlinear distributed structures: application to the optimization of millimeter wave frequency multipliers”, Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Conference on Infrared and Millimeter Waves, September 2002, San Diego, CA, USA.
51. F. Falcone ,T. Lopetegi, M. A. G. Laso and M. Sorolla, “Characteristics of Novel 2D-Electromagnetic Crystal Waveguide in Microstrip”, Proceedings of the *Mediterranean Microwave Symposium MMS 2002* , June 2002, Cáceres, Spain
52. F. Martín, M. Sorolla and F. Falcone, “Spurious passband suppression in periodically loaded coplanar waveguides by using photonic bandgap structures”, Proceedings of the *Mediterranean Microwave Symposium MMS 2002* , June 2002, Cáceres, Spain
53. F. Falcone ,T. Lopetegi, M. A. G. Laso and M. Sorolla, “Applications of Novel 2D-Electromagnetic Crystal Waveguide in Microwave Printed Circuit Technology”, Proceedings of the 26<sup>th</sup> International Conference on Infrared and Millimeter Waves, September 2001, Toulouse, France
54. F. Falcone ,T. Lopetegi, M. A. G. Laso, R. Gonzalo, S. Arana and M. Sorolla, “Novel 2D Electromagnetic Crystal Waveguide in Microwave Printed Circuit technology”, Proceedings of the 31<sup>st</sup> European Microwave Conference, October 2001, London, UK.
55. T. Lopetegi, M. A. G. Laso, M. J. Erro, D. Benito, M.J. Garde, F. Falcone, and M. Sorolla, “New Results in Microstrip Grating Technology”, **Invited conference** in 7<sup>th</sup> International Symposium on Recent Advances in Microwave Technology (ISRAMT’99), December 1999, Málaga.
56. T. Lopetegi, M. A. G. Laso, M. J. Erro, D. Benito, M.J. Garde, F. Falcone, and M. Sorolla, “Microstrip continuous gratings (MCGs)”, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Recent Advances in Microwave Technology (ISRAMT’99), December 1999, Málaga.
57. T. Lopetegi, M. A. G. Laso, M. J. Erro, F. Falcone, and M. Sorolla, “Bandpass filter in microstrip technology using photonic bandgap reflectors”, Proceedings of the 29<sup>th</sup> European Microwave Conference, October 1999, Munich, Germany.
58. M. J. Erro, T. Lopetegi, M. A. G. Laso, D. Benito, M.J. Garde, F. Falcone, and M. Sorolla, “Novel wideband photonic bandgap microstrip structures”, Proceedings of the 29<sup>th</sup> European Microwave Conference, October 1999, Munich, Germany.
59. M. A. G. Laso, M. J. Erro, T. Lopetegi, D. Benito, M. J. Garde, F. Falcone, and M. Sorolla, “Optimization of tapered photonic bandgap structures in microstrip”, Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Infrared and Millimeter Waves, September 1999, Monterey, California.
60. J. Tirapu, T. Lopetegi, F. Falcone, and M. Sorolla, “Dispersion Cancellation using 1-D Photonic Bandgap Microstrip Structures in Transmission”, Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Infrared and Millimeter Waves, September 1999, Monterey, California.
61. M. J. Erro, M.A.G. Laso, D. Benito, M. J. Garde, T. Lopetegi, F. Falcone, and M. Sorolla, “Extended model based on the coupled-mode theory in fibre gratings for the analysis and design of 1-D photonic bandgap devices in microstrip technology”, Proceedings of SPIE’s International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, July 1999, Denver, Colorado.
62. T. Lopetegi, F. Falcone, B. Martínez, I. Ederra, R. Gonzalo, and M. Sorolla, “Photonic Bandgap Resonator Structures in Microstrip”. Proceedings of the 1998 Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 597-600, Yokohama (Japan), December 1998.

63. F. Falcone, T. Lopetegui, B. Martínez, R. Gonzalo, and M. Sorolla, “New 1-D and 2-D Photonic Bandgap Structures in Microstrip”. Proceedings of the *XXVIII Moscow International Conference on Antenna Theory and Technology*, pp. 520-523, Moscow, September 1998.
64. T. Lopetegui, F. Falcone, B. Martínez, R. Gonzalo, and M. Sorolla, “Improved 2-D photonic bandgap microstrip structures”. Proceedings of the *23<sup>rd</sup> International Conference on Infrared and Millimeter Waves*, pp. 197-198. Colchester (United Kingdom), September 1998.

### **Contribuciones a Congresos Nacionales**

1. F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, J.D. Baena, T. Lopetegui, M.A.G. Laso, J. García, M. Beruete, R. Marqués y M. Sorolla, “Estructuras metamateriales en tecnología plana basadas en partículas SRR y CSRR.”, Libro de Actas del *XX Simposium Nacional U.R.S.I.*, Gandía, Septiembre 2005.
2. M. Beruete, I. Campillo, J.S. Dolado, J.E. Rodríguez Seco, E. Perea, F. Falcone, M. Sorolla, “Antena Bull-Eye de bajo Perfil” Libro de Actas del *XX Simposium Nacional U.R.S.I.*, Gandía, Septiembre 2005.
3. I. Arnedo, T. Lopetegui, M.A.G. Laso, D. Benito, F. Falcone, M.A. Muriel, “Filtros de Rechazo de banda en Microstrip con respuesta en frecuencia no periódica”, Libro de Actas del *XX Simposium Nacional U.R.S.I.*, Gandía, Septiembre 2005.
4. J. Bonache, I. Gil, J. Garcia, F. Falcone, T. Lopetegui, M.A.G. Laso, J.D. Baena, F. Martin, M. Sorolla, R. Marques, “Split Ring Resonators: key particles for microwave device design”.
5. E. Jarauta, M.A.G. Laso, F. Falcone, T. Lopetegui, J. D. Baena, J. Bonache, J. García-García, F. Martín, R. Marqués y M. Sorolla, “Diseño de acopladores backward a partir de acopladores forward mediante el uso de una línea metamaterial en microstrip” Libro de Actas del *XIX Simposium Nacional U.R.S.I.*, Barcelona, Septiembre 2004
6. María Flores, Francisco Falcone, Ferran Martín, Jordi Bonache, Juan Baena, Txema Lopetegui, Miguel Angel Gomez Laso, Miguel Beruete, J.A. Marcotegui, Joan Garcia, Ricardo Marqués and Mario Sorolla, “FENÓMENOS DE RADIACIÓN EN METAMATERIALES BASADOS EN TECNOLOGÍA COPLANAR”, Libro de Actas del *XIX Simposium Nacional U.R.S.I.*, Barcelona, Septiembre 2004.
7. F. Falcone, T. Lopetegui, M.A.G. Laso, J.D. Baena, M. Beruete, J. Bonache, R. Marqués, F. Martín, y M. Sorolla, “EL PRINCIPIO DE BABINET APLICADO AL DISEÑO DE METAMATERIALES Y METASUPERFICIES”, Libro de Actas del *XIX Simposium Nacional U.R.S.I.*, Barcelona, Septiembre 2004.
8. F. Falcone, F. Martín, J. Bonache, T. Lopetegui, M.A.G. Laso y M. Sorolla, “Implementación de Filtros Paso Bajo EBG de Doble Periodicidad en Guía Coplanar”, Libro de Actas del *XVIII Simposium Nacional U.R.S.I.*, A Coruña, Septiembre 2003.
9. J. Illescas, J.A. Marcotegui, F. Falcone, M.A.G. Laso, T. Lopetegui, F. Martín y M. Sorolla, “Análisis de Estructuras EBG en Guía Coplanar mediante Simulación basada en FDTD” Libro de Actas del *XVIII Simposium Nacional U.R.S.I.*, A Coruña, Septiembre 2003.
10. F. Falcone, T. Lopetegui, M.A.G. Laso, M. Sorolla, F. Martin, J. Bonache “Aplicación de Estructuras PBG en tecnología Coplanar”. Libro de Actas del *XVII Simposium Nacional U.R.S.I.*, Alcalá de Henares, Septiembre 2002.
11. F. Falcone, T. Lopetegui, B. Martínez, R. Gonzalo y M. Sorolla, “Diseño de Estructuras de Bandgap Fotónico 2-D Optimizadas en Tecnología Microstrip”. Libro de Actas del *XIII Simposium Nacional U.R.S.I.*, pp. 211-212. Pamplona, Septiembre 1998.

**Anexo 1:**

Citas Recibidas

Fuente: ISI Web of Knowledge™ – Web of Science™  
<http://portal.isiknowledge.com>

**Cita1**

Author(s): Tong, MS; Chen, YC; Lu, YL; Kim, HS; Chang, TG; Sauleau, R  
Title: Numerical analysis of PBG via structures using FDTD algorithm  
Source: MICROELECTRONICS INTERNATIONAL, 23 (1): 4-9 2006

**Cita2**

Author(s): Wu, CH; Lin, YS; Wang, CH; Chen, CH  
Title: Novel microstrip coupled-line bandpass filters with shortened coupled sections for stopband extension  
Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 54 (2): 540-546 Part 1 FEB 2006

**Cita3**

Author(s): Schurig, D; Mock, JJ; Smith, DR  
Title: Electric-field-coupled resonators for negative permittivity metamaterials  
Source: APPLIED PHYSICS LETTERS, 88 (4): Art. No. 041109 JAN 23 2006

**Cita4**

Author(s): Lee, JG; Lee, JH  
Title: Suppression of spurious radiations of patch antennas using split-ring resonators (SRRs)  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 48 (2): 283-287 FEB 2006

**Cita5**

Author(s): Bonache, J; Gil, I; Garcia-Garcia, J; Martin, F  
Title: Novel microstrip bandpass filters based on complementary split-ring resonators  
Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 54 (1): 265-271 JAN 2006

**Cita6**

Author(s): Bouzouad, M; Saib, A; Platteborze, R; Huynen, I; Aksas, R  
Title: Defect modes in microstrip lines on electromagnetic bandgap substrates of finite extent  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 48 (1): 144-150 JAN 2006

**Cita7**

Author(s): Bera, SC; Singh, RV; Garg, VK; Arora, NS; Nair, SS  
Title: A novel PBG structure for filter application  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 48 (1): 188-190 JAN 2006

**Cita8**

Author(s): Zhang, W; Mao, J; Sun, X  
Title: Patch antenna array embedded on a high-impedance ground plane  
Source: JOURNAL OF ELECTROMAGNETIC WAVES AND APPLICATIONS, 19 (15): 2007-2014 2005

**Cita9**

Author(s): Lin, SC; Lin, YS; Chen, CH  
Title: Extended-stopband bandpass filter using both half- and quarter-wavelength resonators  
Source: IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 16 (1): 43-45 JAN 2006

**Cita10**

Author(s): Kim, J; Cho, CS; Lee, JW  
Title: CPW bandstop filter using slot-type SRRs  
Source: ELECTRONICS LETTERS, 41 (24): 1333-1334 NOV 24 2005

**Cita11**

Author(s): Bulu, I; Caglayan, H; Ozbay, E  
Title: Experimental demonstration of labyrinth-based left-handed metamaterials  
Source: OPTICS EXPRESS, 13 (25): 10238-10247 DEC 12 2005

**Cita12**

Author(s): Fathelbab, WM; Steer, MB

Title: Parallel-coupled line filters with enhanced stopband performances

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (12): 3774-3781 DEC 2005

**Cita13**

Author(s): Chen, CF; Huang, TY; Wu, RB

Title: Design of microstrip bandpass filters with multiorder spurious-mode suppression

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (12): 3788-3793 DEC 2005

**Cita14**

Author(s): Huang, SY; Lee, YH

Title: Compact U-Shaped dual planar EBG microstrip low-pass filter

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (12): 3799-3805 DEC 2005

**Cita15**

Author(s): Frezza, F; Pajewski, L; Schettini, G

Title: Numerical investigation on the filtering behavior of 2-D PBGs with multiple periodic defects

Source: IEEE TRANSACTIONS ON NANOTECHNOLOGY, 4 (6): 730-739 NOV 2005

**Cita16**

Author(s): Eshrah, IA; Kishk, AA; Yakovlev, AB; Glisson, AW

Title: Spectral analysis of left-handed rectangular waveguides with dielectric-filled corrugations

Source: IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, 53 (11): 3673-3683 NOV 2005

**Cita17**

Author(s): Mao, SG; Wu, MS; Chueh, YZ; Chen, CH

Title: Modeling of symmetric composite right/left-handed coplanar waveguides with applications to compact bandpass filters

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (11): 3460-3466 NOV 2005

**Cita18**

Author(s): Tang, CW; Liang, HH

Title: Parallel-coupled stacked SIRs bandpass filters with open-loop resonators for suppression of spurious responses

Source: IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 15 (11): 802-804 NOV 2005

**Cita19**

Author(s): Gao, J; Zhu, L

Title: Characterization of infinite- and finite-extent coplanar waveguide metamaterials with varied left- and right-handed passbands

Source: IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 15 (11): 805-807 NOV 2005

**Cita20**

Author(s): Ying, X; Alphones, A

Title: Propagation characteristics of complimentary split ring resonator (CSRR) based EBG structure

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 47 (5): 409-412 DEC 5 2005

**Cita21**

Author(s): Tong, MS; Chen, YC; Lu, YL; Krozer, V; Kagoshima, K; Kim, HS; Chang, TG

Title: Analysis of photonic band-gap structures in stratified medium

Source: COMPEL-THE INTERNATIONAL JOURNAL FOR COMPUTATION AND MATHEMATICS IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING, 24 (4): 1191-1199 2005

**Cita22**

Author(s): Garcia-Garcia, J; Martin, F; Baena, JD; Marques, R; Jelinek, L

Title: On the resonances and polarizabilities of split ring resonators

Source: JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 98 (3): Art. No. 033103 AUG 1 2005

**Cita23**

Author(s): Huang, SY; Lee, YH

Title: Tapered dual-plane compact electromagnetic bandgap microstrip filter structures  
Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (9): 2656-2664 Sp. Iss. SI SEP 2005

**Cita24**

Author(s): Kim, IK; Kingsley, N; Morton, M; Bairavasubramanian, R; Papapolymerou, J; Tentzeris, MM; Yook, JG  
Title: Fractal-shaped microstrip coupled-line bandpass filters for suppression of second harmonic  
Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (9): 2943-2948 Sp. Iss. SI SEP 2005

**Cita25**

Author(s): Karyamapudi, BM; Hong, JS  
Title: Characterization and applications of a compact CPW defected ground structure  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 47 (1): 26-31 OCT 5 2005

**Cita26**

Author(s): Noh, I; Edelman, ER  
Title: Smooth muscle cell ingrowth of a surface-modified ePTFE vascular graft  
Source: ASBM6: ADVANCED BIOMATERIALS VI, 288-289: 367-370 2005  
Book series title: KEY ENGINEERING MATERIALS

**Cita27**

Author(s): Pistono, E; Ferrari, P; Duvillaret, L; Duchamp, JM; Harrison, RG  
Title: Hybrid narrow-band tunable bandpass filter based on varactor loaded electromagnetic-bandgap coplanar waveguides  
Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (8): 2506-2514 AUG 2005

**Cita28**

Author(s): Aydin, K; Bulu, I; Guven, K; Kafesaki, M; Soukoulis, CM; Ozbay, E  
Title: Investigation of magnetic resonances for different split-ring resonator parameters and designs  
Source: NEW JOURNAL OF PHYSICS, 7: Art. No. 168 AUG 8 2005

**Cita29**

Author(s): Chiau, CC; Chen, X; Parini, CG  
Title: A sandwiched multiperiod EBG structure for microstrip patch antennas  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 46 (5): 437-440 SEP 5 2005

**Cita30**

Author(s): Bonache, J; Martin, F; Gil, I; Garcia-Garcia, J; Marques, R; Sorolla, M  
Title: Microstrip bandpass filters with wide bandwidth and compact dimensions  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 46 (4): 343-346 AUG 20 2005

**Cita31**

Author(s): Bonache, J; Gil, I; Garcia-Garcia, J; Martin, E  
Title: Complementary split ring resonators for microstrip diplexer design  
Source: ELECTRONICS LETTERS, 41 (14): 810-811 JUL 7 2005

**Cita32**

Author(s): Bonache, J; Martin, F; Garcia-Garcia, J; Gil, I; Marques, R; Sorolla, M  
Title: Ultra wide band pass filters (UWBPF) based on complementary split rings resonators  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 46 (3): 283-286 AUG 5 2005

**Cita33**

Author(s): Huang, SY; Lee, YH  
Title: A tapered small-size EBG microstrip bandstop filter design with triple EBG structures  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 46 (2): 154-158 JUL 20 2005

**Cita34**

Author(s): Hao, T; Stevens, CJ; Edwards, DJ  
Title: Optimisation of metamaterials by Q factor  
Source: ELECTRONICS LETTERS, 41 (11): 653-654 MAY 26 2005

**Cita35**

Author(s): Sun, S; Zhu, L  
Title: Periodically nonuniform coupled microstrip-line filters with harmonic suppression using transmission zero reallocation

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (5): 1817-1822 MAY 2005

**Cita36**

Author(s): Velazquez-Ahumada, MD; Martel, J; Medina, F

Title: Parallel coupled microstrip filters with floating ground-plane conductor for spurious-band suppression

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (5): 1823-1828 MAY 2005

**Cita37**

Author(s): Gil, I; Bonache, J; Garcia-Garcia, J; Martin, F

Title: Application of active electromagnetic bandgaps to the design of tunable resonators in CPW technology

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 45 (3): 229-232 MAY 5 2005

**Cita38**

Author(s): Yao, HY; Xu, W; Li, LW; Wu, Q; Yeo, TS

Title: Propagation property analysis of metamaterial constructed by conductive SRRs and wires using the MGS-based algorithm

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (4): 1469-1476 Part 2 APR 2005

**Cita39**

Author(s): Mao, SG; Chen, SL; Huang, CW

Title: Effective electromagnetic parameters of novel distributed left-handed microstrip lines

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 53 (4): 1515-1521 Part 2 APR 2005

**Cita40**

Author(s): Wang, JP; Wang, BZ; Shao, W

Title: A novel partly shielded finite ground CPW low pass filter

Source: JOURNAL OF ELECTROMAGNETIC WAVES AND APPLICATIONS, 19 (5): 689-696 2005

**Cita41**

Author(s): Syms, RRA; Shamonina, E; Kalinin, V; Solymar, L

Title: A theory of metamaterials based on periodically loaded transmission lines: Interaction between magnetoinductive and electromagnetic waves

Source: JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 97 (6): Art. No. 064909 MAR 15 2005

**Cita42**

Author(s): Saib, A; Huynen, I

Title: Transmission lines on periodic bandgap metamaterials: from microwaves to optics applications

Source: JOURNAL OF OPTICS A-PURE AND APPLIED OPTICS, 7 (2): S124-S132 Suppl. S FEB 2005

**Cita43**

Author(s): Viitanen, AJ; Tretyakov, SA

Title: Metawaveguides formed by arrays of small resonant particles over a ground plane

Source: JOURNAL OF OPTICS A-PURE AND APPLIED OPTICS, 7 (2): S133-S140 Suppl. S FEB 2005

**Cita44**

Author(s): Ouyang, G; Yariv, A

Title: Design of discrete, nearly-uniform Bragg gratings in planar waveguides

Source: OPTICS EXPRESS, 13 (4): 1098-1106 FEB 21 2005

**Cita45**

Author(s): Nestic, D

Title: Compact one-cell EBG (or PBG) microstrip matching line

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 44 (4): 363-365 FEB 20 2005

**Cita46**

Author(s): Decoopman, T; Vanbesien, O; Lippens, D

Title: Demonstration of a backward wave in a single split ring resonator and wire loaded finline

Source: IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 14 (11): 507-509 NOV 2004

**Cita47**

Author(s): Kaddour, D; Pistono, E; Duchamp, JM; Duvillaret, L; Jrad, A; Ferrari, P

Title: Compact and selective lowpass filter with spurious suppression

Source: ELECTRONICS LETTERS, 40 (21): 1344-1345 OCT 14 2004

**Cita48**

Author(s): Gil, I; Garcia-Garcia, J; Bonache, J; Martin, F; Sorolla, M; Marques, R  
Title: Varactor-loaded split ring resonators for tunable notch filters at microwave frequencies  
Source: ELECTRONICS LETTERS, 40 (21): 1347-1348 OCT 14 2004

**Cita49**

Author(s): Siakavara, K  
Title: Novel microwave microstrip filters using photonic bandgap ground plane with fractal periodic pattern  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 43 (4): 273-276 NOV 20 2004

**Cita50**

Author(s): Li, YH; Jiang, HT; He, L; Li, HQ; Zhang, YW; Chen, H  
Title: Localized mode enhanced coupler based on quasi-one-dimensional photonic crystal microstrip  
Source: CHINESE PHYSICS LETTERS, 21 (10): 1976-1978 OCT 2004

**Cita51**

Author(s): Tong, MS; Lu, YL; Chen, YC; Yang, MW; Cao, QS; Krozer, V; Vahldieck, R  
Title: Design and analysis of planar printed microwave and PBG filters using an FDTD method  
Source: MICROELECTRONICS JOURNAL, 35 (9): 777-781 SEP 2004

**Cita52**

Author(s): Kim, BS; Lee, JW; Song, MS  
Title: An implementation of harmonic-suppression microstrip filters with periodic grooves  
Source: IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 14 (9): 413-415 SEP 2004

**Cita53**

Author(s): Padhi, SK  
Title: Improved performance of EBGs on a co-planar transmission line using tapered distribution  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 42 (2): 128-131 JUL 20 2004

**Cita54**

Author(s): Ooi, BL  
Title: A modified contour integral analysis for Sierpinski fractal carpet antennas with and without electromagnetic band gap ground plane  
Source: IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, 52 (5): 1286-1293 MAY 2004

**Cita55**

Author(s): Lee, CO; Shin, CC  
Title: Enhanced periodic structures with compact size  
Source: ELECTRONICS LETTERS, 40 (8): 479-481 APR 15 2004

**Cita56**

Author(s): Tong, MS; Cheng, M; Lu, YL; Chen, YC; Krozer, V; Vahldieck, R  
Title: Analysis of photonic band-gap (PBG) structures using the FDTD method  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 41 (3): 173-177 MAY 5 2004

**Cita57**

Author(s): Her, ML; Wang, YZ; Lin, KY; Chen, YW  
Title: Improved tunable coplanar waveguide (CPW) bandstop filter  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 41 (3): 198-200 MAY 5 2004

**Cita58**

Author(s): Saib, A; Platteborze, R; Huynen, I  
Title: Experimental demonstration of the origin of photonic bandgap creation and associated defect modes in microwave planar circuits  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 41 (1): 5-9 APR 5 2004

**Cita59**

Author(s): Frezza, F; Pajewski, L; Schettini, G  
Title: Fractal two-dimensional electromagnetic bandgap structures  
Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 52 (1): 220-227 Part 1 JAN 2004

**Cita60**

Author(s): Bozzetti, M; D'Orazio, A; De Sario, M; Petruzzelli, V; Prudeniano, F; Renna, F  
Title: Tapered photonic bandgap microstrip lowpass filters: design and realisation  
Source: IEE PROCEEDINGS-MICROWAVES ANTENNAS AND PROPAGATION, 150 (6): 459-462 DEC 2003

**Cita61**

Author(s): Chiau, CC; Chen, X; Parini, C  
Title: Multiperiod EBG structure for wide stopband circuits  
Source: IEE PROCEEDINGS-MICROWAVES ANTENNAS AND PROPAGATION, 150 (6): 489-492 DEC 2003

**Cita62**

Author(s): Uusitupa, T; Karkkainen, K; Nikoskinen, K  
Title: Studying 120 degrees PBG waveguide bend using FDTD  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 39 (4): 326-333 NOV 20 2003

**Cita63**

Author(s): Her, ML; Wang, YZ; Chiou, YC; Kung, FH  
Title: Improved doubly tapered electromagnetic periodic structure (EPS) for bandstop filter applications  
Source: IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS, E86C (10): 2151-2153 OCT 2003

**Cita64**

Author(s): de Maagt, P; Gonzalo, R; Vardaxoglou, YC; Baracco, JM  
Title: Electromagnetic bandgap antennas and components for microwave and (sub)millimeter wave applications  
Source: IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, 51 (10): 2667-2677 Part 1 OCT 2003

**Cita65**

Author(s): Saib, A; Vanhoenacker-Janvier, D; Huynen, I; Encinas, A; Piraux, L; Ferain, E; Legras, R  
Title: Magnetic photonic band-gap material at microwave frequencies based on ferromagnetic nanowires  
Source: APPLIED PHYSICS LETTERS, 83 (12): 2378-2380 SEP 22 2003

**Cita66**

Author(s): Yang, N; Chen, ZN; Wang, YY; Chia, MYW  
Title: A novel two-layer compact electromagnetic bandgap (EBG) structure and its applications in microwave circuits  
Source: SCIENCE IN CHINA SERIES E-TECHNOLOGICAL SCIENCES, 46 (4): 439-447 AUG 2003

**Cita67**

Author(s): Jasapara, J; Her, TH; Bise, R; Windeler, R; DiGiovanni, DJ  
Title: Group-velocity dispersion measurements in a photonic bandgap fiber  
Source: JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA B-OPTICAL PHYSICS, 20 (8): 1611-1615 AUG 2003

**Cita68**

Author(s): Karmakar, NC  
Title: Non-uniform distributions of photonic bandgap microstripline structures  
Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, 90 (1): 65-77 JAN 2003

**Cita69**

Author(s): Ko, YJ; Park, JY; Bu, JU  
Title: Fully integrated unequal Wilkinson power divider with EBG CPW  
Source: IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 13 (7): 276-278 JUL 2003

**Cita70**

Author(s): Her, ML; Chang, CM; Wang, YZ; Kung, FH; Chiou, YC  
Title: Improved coplanar waveguide (CPW) bandstop filter with photonic bandgap (PBG) structure  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 38 (4): 274-277 AUG 20 2003

**Cita71**

Author(s): Padhi, SK; Bialkowski, ME  
Title: A microstrip Yagi antenna using EBG structure  
Source: RADIO SCIENCE, 38 (3): Art. No. 1041 MAY 22 2003

**Cita72**

Author(s): Nestic, D  
Title: A new type of slow-wave 1D PBG microstrip band-pass filter  
Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 37 (3): 201-203 MAY 5 2003

**Cita73**

Author(s): Laso, MAG; Lopetegui, T; Erro, MJ; Benito, D; Garde, MJ; Muriel, MA; Sorolla, M; Guglielmi, M

Title: Real-time spectrum analysis in microstrip technology

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 51 (3): 705-717 MAR 2003

**Cita74**

Author(s): Yang, N; Chen, ZN; Wang, YY; Chia, MYW

Title: A two-layer compact electromagnetic bandgap (EBG) structure and its applications in microstrip filter design

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 37 (1): 62-64 APR 5 2003

**Cita75**

Author(s): Karmakar, NC; Mollah, MN

Title: Investigations into nonuniform photonic-bandgap microstripline low-pass filters

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 51 (2): 564-572 Part 1 FEB 2003

**Cita76**

Author(s): Erro, MJ; Laso, MAG; Lopetegi, T; Garde, MJ; Benito, D; Sorolla, M

Title: A comparison of the performance of different tapers in continuous microstrip electromagnetic crystals

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 36 (1): 37-40 JAN 5 2003

**Cita77**

Author(s): Lopetegi, T; Laso, MAG; Erro, MJ; Sorolla, M; Thumm, M

Title: Analysis and design of periodic structures for microstrip lines by using the coupled mode theory

Source: IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 12 (11): 441-443 NOV 2002

**Cita78**

Author(s): Yan, DB; Yuan, NC; Fu, YQ; Zhang, GF

Title: Research on 1-D and 2-D PBG structure based on FDTD method

Source: JOURNAL OF INFRARED AND MILLIMETER WAVES, 21 (4): 281-284 AUG 2002

**Cita79**

Author(s): Nestic, D

Title: A new type of slow-wave 1-D PBG microstrip structure without etching in the ground plane for filter and other applications

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 33 (6): 440-443 JUN 20 2002

**Cita80**

Author(s): Karmakar, NC

Title: Theoretical investigations into binomial distributions of photonic bandgaps in microstripline structures

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 33 (3): 191-196 MAY 5 2002

**Cita81**

Author(s): Karmakar, NC

Title: Improved performance of photonic band-gap microstripline structures with the use of Chebyshev distributions

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 33 (1): 1-5 APR 5 2002

**Cita82**

Author(s): Karmakar, NC; Mollah, MN

Title: Microstrip lines on annular-ring photonic bandgap structures

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 32 (6): 431-433 MAR 20 2002

**Cita83**

Author(s): Erro, MJ; Laso, MAG; Lopetegi, T; Benito, D; Garde, MJ; Sorolla, M

Title: Analysis and design of electromagnetic crystals in microstrip technology using a fibre grating model

Source: OPTICAL AND QUANTUM ELECTRONICS, 34 (1-3): 297-309 JAN 2002

**Cita84**

Author(s): Fu, YQ; Yuan, NC; Zhang, GH

Title: A novel fractal microstrip PBG structure

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 32 (2): 136-138 JAN 20 2002

**Cita85**

Author(s): Fu, YQ; Zhang, GH; Yuan, NC

Title: A novel PBG coplanar waveguide

Source: IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 11 (11): 447-449 NOV 2001

**Cita86**

Author(s): D'Orazio, A; De Sario, M; Gadaleta, V; Petruzzelli, V; Prudeniano, F

Title: Meander microstrip photonic bandgap filter using a Kaiser tapering window

Source: ELECTRONICS LETTERS, 37 (19): 1165-1167 SEP 13 2001

Cita87

Author(s): Chew, ST; Itoh, T

Title: PBG-excited split-mode resonator bandpass filter

Source: IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 11 (9): 364-366 SEP 2001

Cita88

Author(s): Ammari, H; Bereux, N; Bonnetier, E

Title: Analysis of the radiation properties of a planar antenna on a photonic crystal substrate

Source: MATHEMATICAL METHODS IN THE APPLIED SCIENCES, 24 (13): 1021-1042 SEP 10 2001

Cita89

Author(s): Lopetegi, T; Laso, MAG; Hernandez, J; Bacaicoa, M; Benito, D; Garde, MJ; Sorolla, M; Guglielmi, M

Title: New microstrip "wiggly-line" filters with spurious passband suppression

Source: IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 49 (9): 1593-1598 SEP 2001

Cita90

Author(s): Akalin, T; Laso, MAG; Lopetegi, T; Vanbesien, O; Sorolla, M; Lippens, D

Title: Peg-type microstrip filters with one- and two-sided patterns

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 30 (1): 69-72 JUL 5 2001

Cita91

Author(s): Tretyakov, SA; Viitanen, AJ

Title: Line of periodically arranged passive dipole scatterers

Source: ELECTRICAL ENGINEERING, 82 (6): 353-361 NOV 2000

Cita92

Author(s): Erro, MJ; Laso, MAG; Lopetegi, T; Benito, D; Garde, MJ; Sorolla, M

Title: Modeling and testing of uniform fiber Bragg gratings using 1-D photonic bandgap structures in microstrip technology

Source: FIBER AND INTEGRATED OPTICS, 19 (4): 311-325 2000

Cita93

Author(s): Laso, MAG; Lopetegi, T; Bacaicoa, M; Hernandez, J; Gonzalo, R; Sorolla, M

Title: Arrangements of via holes in microstrip lines as metallodielectric periodic structures

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 26 (6): 372-379 SEP 20 2000

Cita94

Author(s): Laso, MAG; Lopetegi, T; Erro, MJ; Benito, D; Garde, MJ; Sorolla, M

Title: Multiple-frequency-tuned photonic bandgap microstrip structures

Source: IEEE MICROWAVE AND GUIDED WAVE LETTERS, 10 (6): 220-222 JUN 2000

Cita95

Author(s): Lopetegi, T; Laso, MAG; Erro, MJ; Benito, D; Garde, MJ; Falcone, F; Sorolla, M

Title: Novel photonic bandgap microstrip structures using network topology

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 25 (1): 33-36 APR 5 2000

Cita96

Author(s): Laso, MAG; Lopetegi, T; Erro, MJ; Benito, D; Garde, MJ; Sorolla, M

Title: Novel wideband photonic bandgap microstrip structures

Source: MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 24 (5): 357-360 MAR 5 2000

Cita97

Author(s): Laso, MAG; Erro, MJ; Lopetegi, T; Benito, D; Garde, MJ; Sorolla, M

Title: Optimization of tapered Bragg reflectors in microstrip technology

Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF INFRARED AND MILLIMETER WAVES, 21 (2): 231-245 FEB 2000