



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 235 623**

② Número de solicitud: 200302282

⑤ Int. Cl.:  
**H01P 1/203** (2006.01)  
**H01Q 1/36** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **25.09.2003**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.07.2005**

Fecha de la concesión: **22.09.2006**

⑭ Fecha de anuncio de la concesión: **01.11.2006**

⑮ Fecha de publicación del folleto de la patente: **01.11.2006**

⑰ Titular/es: **Universitat Autònoma de Barcelona 08193 Bellaterra, Barcelona, ES**  
**Universidad Pública de Navarra y**  
**Universidad de Sevilla**

⑱ Inventor/es: **Martín Antolín, Juan Fernando;**  
**Bonache Albacete, Jorge;**  
**Marqués Sillero, Ricardo;**  
**Baena Doello, Juan Domingo;**  
**Martel Villagran, Jesús;**  
**Medina Mena, Francisco;**  
**Falcone Lanas, Francisco;**  
**Lopetegui Beregaña, José María;**  
**Beruete Díaz, Miguel y**  
**Sorolla Ayza, Mario**

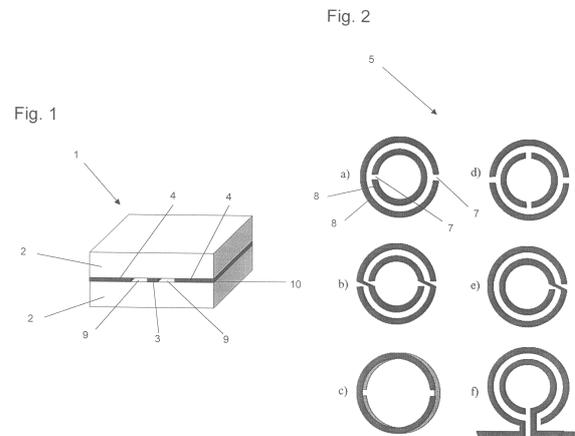
⑳ Agente: **Ponti Sales, Adelaida**

⑳ Título: **Filtros y antenas de microondas y milimétricas basados en resonadores de anillos abiertos y en líneas de transmisión planares.**

㉑ Resumen:

Filtros y antenas de microondas y milimétricas basados en resonadores de anillos abiertos y en líneas de transmisión planares.

Filtro para microondas y ondas milimétricas, que se caracteriza por el hecho de que comprende un medio de transmisión planar (1) que incluye una tira conductora (3), plano de masa metálico (4) y substrato dieléctrico (2) y por el hecho de que comprende por lo menos un resonador de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d, 5e y 5f).



ES 2 235 623 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCIÓN

Filtros y antenas de microondas y ondas milimétricas basados en resonadores de anillos abiertos y en líneas de transmisión planares.

La presente invención se refiere a filtros y antenas de microondas y ondas milimétricas basados en resonadores de anillos abiertos y líneas de transmisión planares.

### Antecedentes de la invención

Son conocidas estructuras periódicas basadas en resonadores de anillos abiertos para sintetizar respuestas frecuenciales de rechazo de banda y para conseguir propiedades de focalización de ondas electromagnéticas propagándose en el espacio. Dichas estructuras se basan en el hecho de que en la vecindad de la frecuencia de resonancia, tales anillos se pueden comportar como un medio efectivo con valores extremos de permeabilidad (positiva por debajo de la resonancia y negativa por encima de ella). Para ello es necesario que dichas estructuras periódicas sean irradiadas con el campo magnético polarizado paralelamente al eje de los anillos. Siendo así, se inhibe la propagación de señales electromagnéticas en una banda de frecuencias estrecha alrededor de la frecuencia de resonancia, y, por tanto, se obtiene un comportamiento de rechazo de banda.

También son conocidas estructuras periódicas basadas en resonadores de anillos abiertos para sintetizar respuestas pasa banda. En este caso se requiere, además de los anillos, de una estructura adicional superpuesta capaz de proporcionar un valor negativo de la permitividad efectiva del medio hasta valores frecuenciales por encima de la frecuencia de resonancia de los anillos abiertos. De esta forma, en aquella región donde coexistan valores negativos para la permeabilidad y permitividad efectivas, será posible la propagación de señales, y por tanto se obtendrá una respuesta pasa banda, resultando un medio de transmisión en el que la velocidad de fase y grupo son antiparalelas (material zurdo). Entre estas estructuras, cabe citar las basadas en resonadores de anillos abiertos y postes metálicos colocados en filas alternadas. Dichos postes metálicos emulan un plasma escalado a frecuencias de microondas y milimétricas, confiriendo un valor negativo de la permitividad al medio hasta una frecuencia (frecuencia plasma) que depende de las dimensiones radiales de los postes y de la separación de los mismos. También se han propuesto estructuras basadas en resonadores de anillos abiertos incrustados en una guía de ondas rectangular, la cual también emula un plasma de microondas hasta la frecuencia de corte de la guía.

Por otra parte, estas estructuras se comportan como elementos de corriente eléctrica o magnética que posibilitan la emisión y recepción de ondas electromagnéticas a modo de antena. Mediante una agrupación periódica de tales estructuras, se puede observar experimentalmente la emisión o recepción de radiación gracias a que la estructura permite la propagación de ondas rápidas.

Una limitación de las anteriores estructuras para su utilización práctica como filtros, antenas, etc., es el hecho de que no son compatibles con las tecnologías de fabricación de circuitos (circuitos impresos o tecnologías microelectrónicas), pues se trata de estructuras tridimensionales.

Otra importante limitación de las citadas estruc-

turas se refiere al hecho que presentan pérdidas muy significativas en la banda de paso, siendo inviable el uso de las mismas como filtros y antenas. Tales pérdidas no son tanto debidas a radiación o a pérdidas óhmicas o dieléctricas, sino que más bien son consecuencia de la falta de adaptación entre el medio y las sondas de medida.

Son conocidas estructuras basadas en líneas de transmisión planares en las que coexisten valores negativos de permeabilidad y permitividad efectivas en un determinado rango de frecuencia, pero en ningún caso se trata de estructuras resonantes, ni en dichas estructuras se utilizan resonadores de anillos cortados para la obtención de respuestas de rechazo de banda o pasa banda estrechas.

### Descripción de la invención

El objetivo de la presente invención es resolver los inconvenientes mencionados referidos a las estructuras basadas en anillos abiertos, desarrollando un filtro basado en un medio de transmisión planar que puede actuar como filtro pasa banda, de rechazo de banda o antenas elementales o agrupaciones de las mismas, operativo a frecuencias de microondas y ondas milimétricas y compatible con las tecnologías planares de fabricación de circuitos, y con las modernas técnicas de micromecanizado.

De acuerdo con este objetivo, el filtro para microondas y ondas milimétricas de la presente invención, se caracteriza por el hecho de que comprende un medio de transmisión planar que incluye una tira conductora, plano de masa metálico y substrato dieléctrico y por el hecho de que comprende por lo menos un resonador de anillos abiertos.

Esta característica permite realizar filtros de dimensiones muy reducidas, debido a que las dimensiones de los resonadores de anillos abiertos son mucho menores que la longitud de onda a la frecuencia de resonancia de los anillos abiertos.

Además, dichos filtros presentan bajas pérdidas de inserción en la banda de paso, su diseño es muy simple y su proceso de fabricación es compatible con las tecnologías de fabricación de circuitos impresos e integrados.

Presentan también una elevada selectividad frecuencial como consecuencia del elevado factor de calidad de los resonadores de anillos abiertos.

Preferiblemente, los resonadores de anillos abiertos son metálicos y están dispuestos en acoplamiento magnético con el medio de transmisión planar.

Dichos resonadores de anillos abiertos comprenden al menos un par de anillos metálicos concéntricos (mismo nivel) o bien un par de anillos dispuestos uno encima del otro, con aberturas en algún punto de los mismos al efecto de conseguir una estructura resonante. Se incluyen también los resonadores de anillos abiertos en espiral.

Para conseguir una respuesta en frecuencia del filtro tipo pasa banda, es necesario introducir un tipo de periodicidad al medio de transmisión planar consistente en la disposición de uniones metálicas entre la tira conductora y los planos de masa metálicos de dicho medio de transmisión planar.

Según otra realización, la tira conductora está separada eléctricamente del plano de masa metálico, comportándose como un filtro de rechazo de banda. En este caso, por el hecho de que no existe unión entre la tira conductora y los planos de masa metálicos, es decir, están totalmente separados, el filtro presenta

una respuesta en frecuencia tipo de rechazo de banda.

Según aún otra realización, los resonadores de anillos abiertos de la última topología presentada son metálicos y están dispuestos en serie con la tira conductora. La inserción en serie a lo largo de la línea de transmisión de varios de estos anillos arriba mencionados, permite obtener filtros con respuesta frecuencial tipo pasa banda, con una impedancia inusualmente alta, excepto en la frecuencia de resonancia, donde se hacen “transparentes” para la propagación electromagnética.

Preferiblemente el medio de transmisión planar está basado en líneas de transmisión convencionales (coplanar, microtira, cinta) o variantes de las mismas. Gracias a esta característica, los filtros se pueden implementar en cualquier tipo de línea de transmisión compatible con las tecnologías de circuitos impresos o integrados. La línea de transmisión de cinta es conocida como “stripline”.

Alternativamente, los resonadores de anillos abiertos están grabados en el plano de masa metálico siendo su superficie la negativa de la de los resonadores de anillos abiertos metálicos (anillos complementarios).

Según una realización correspondiente a resonadores de anillos abiertos complementarios, existen brechas capacitivas periódicas en la tira conductora (también conocidas como “gaps” capacitivos), comportándose la estructura como un filtro pasa banda.

Según otra realización para los resonadores de anillos abiertos complementarios, la tira conductora presenta continuidad, comportándose como un filtro de rechazo de banda. En este caso, por el hecho de que no existen brechas capacitivas (“gaps” capacitivos) en la tira conductora, es decir, existe continuidad en toda la tira conductora, el filtro presenta una respuesta en frecuencia tipo de rechazo de banda.

Según otra realización, para los resonadores de anillos abiertos complementarios de la última topología representada, la tira conductora presenta continuidad, comportándose como un filtro pasa banda. Sólo en este caso, por el hecho de que no existen brechas capacitivas (“gaps” capacitivos) en la tira conductora de la última configuración de anillos abiertos, es decir, existe continuidad en toda la tira conductora, el filtro presenta una respuesta en frecuencia tipo pasa banda.

Según otra realización, el filtro comprende resonadores de anillos abiertos metálicos en acoplamiento magnético con el medio de transmisión planar y resonadores de anillos abiertos complementarios grabados en el plano de masa metálico, obteniéndose una respuesta pasa banda.

Adicionalmente, los anillos abiertos son de geometría circular o poliédrica, presentan una pluralidad de elementos metálicos y/o aberturas grabados en uno o más niveles de metal.

La combinación de todas estas características de los anillos abiertos, permite conseguir una estructura resonante en un amplio margen frecuencial.

Ventajosamente, el filtro presenta múltiples bandas de paso o de rechazo, con ancho de banda controlable mediante el número de aberturas y/o la disposición de los resonadores de anillos abiertos y/o de su geometría

Ventajosamente, el filtro es reconfigurable electrónicamente e incorpora interruptores microelectromecánicos (MEMS).

Adicionalmente, se puede implementar una antena para microondas u ondas milimétricas según cualquiera de las realizaciones anteriores.

El hecho de que los diagramas de radiación presentan unos buenos niveles de directividad y polarización, permite que el filtro se comporte como una antena, ya que elimina las ondas incidentes mediante la radiación de las mismas. Además se pueden implementar variantes basadas en agrupaciones de antenas en batería. Un ajuste adecuado de las propiedades de los anillos permite enfatizar las propiedades de radiación de dichas estructuras permitiendo su empleo para la emisión y recepción de ondas electromagnéticas.

#### Breve descripción de los dibujos

Para mayor comprensión de cuanto se ha expuesto, se acompañan unos dibujos en los que, esquemáticamente y solo a título de ejemplos no limitativos, se representa una realización preferida del medio de transmisión planar y varias topologías de resonadores de anillos.

La figura 1 muestra en perspectiva un medio de transmisión planar consistente en una guía de ondas coplanar enterrada (es decir, con sustrato dieléctrico por arriba y por debajo de la tira conductora y los planos de masa).

En la figura 2 se muestran algunas topologías de resonadores de anillos abiertos, en espiral y en configuración serie.

La figura 3 muestra la topología de una realización preferida para un filtro pasa banda con tres etapas de resonadores de anillos y realizado mediante una guía de ondas coplanar enterrada (es decir rodeada de sustrato dieléctrico por arriba y por abajo), con los anillos grabados en las caras exteriores del sustrato dieléctrico, y con uniones metálicas estrechas entre la tira conductora central y los planos de masa de la guía de ondas coplanar situadas al mismo nivel de los anillos.

La figura 4 muestra un gráfico de la respuesta frecuencial medida del filtro de la invención correspondiente a la realización preferida, y la figura 5 muestra un diagrama de radiación típico de las estructuras reivindicadas de esta invención.

#### Descripción de una realización preferida

La figura 1 de la presente invención muestra una estructura de medio de transmisión planar 1 tipo guía de ondas coplanar enterrada, es decir, con sustrato dieléctrico 2 a ambos lados del plano metálico central 10 en el que se define la tira conductora 3, separada de los planos de masa metálicos 4 por las ranuras 9, también llamadas slots. Alternativamente, la guía de ondas coplanar puede consistir de la misma estructura que la mostrada en la figura 1, pero solamente con sustrato dieléctrico 2 a uno de los lados del plano metálico central 10, que contiene el conductor central y los planos de masa metálicos 4. O cualquier otro tipo de configuración con múltiples capas de sustrato dieléctrico 2. También son posibles otros medios de propagación, tales como la línea de transmisión microtira, de cinta, también llamada “stripline”, y en general cualquier medio de transmisión planar.

Para la realización de los filtros y antenas de altas prestaciones, es conveniente el uso de sustrato dieléctricos 2 con bajas pérdidas dieléctricas para obtener respuestas frecuenciales con las menores pérdidas posibles en la banda de paso 13 de los mencionados filtros y antenas.

La figura 2 muestra algunos ejemplos de resona-

dores de anillos abiertos 5, los cuales se caracterizan por presentar dos anillos abiertos 8 metálicos, es decir, con aberturas 7 en algún punto.

La topología 5a comprende dos anillos abiertos 8 metálicos concéntricos cada uno de ellos con una aberturas 7, estando dispuestas dichas aberturas 7 a 180°.

La topología 5b comprende dos anillos abiertos 8 metálicos concéntricos cada uno de ellos con dos aberturas 7 dispuestas a 180° entre sí, estando dispuestas dichas aberturas 7 en la misma posición y estando unidos un extremo del anillo abierto 8 metálico con el extremo opuesto del otro.

La topología 5c comprende dos anillos abiertos 8 metálicos superpuestos en diferentes planos, cada uno de ellos con una aberturas 7, estando dispuestas dichas aberturas 7 a 180°.

La topología 5d comprende dos anillos abiertos 8 metálicos concéntricos cada uno de ellos con dos aberturas 7 dispuestas a 180° entre sí, estando dispuestas las aberturas 7 de un anillo a 90° respecto de las del otro.

La topología 5e comprende dos anillos abiertos 8 metálicos concéntricos en espiral, cada uno de ellos con una aberturas 7, estando dispuestas dichas aberturas 7 en la misma posición y estando unido un extremo del anillo abierto 8 metálico con el extremo opuesto del otro.

La topología 5f comprende dos anillos abiertos 8 metálicos concéntricos simétricos, cada uno de ellos con una aberturas 7, estando dispuestas dichas aberturas 7 en la misma posición y dispuestos en serie con la tira conductora 3.

La figura 3 muestra la topología de un filtro 11 con estructura de guía de ondas coplanar enterrada y basada en resonadores de anillos abiertos 5 metálicos, con aberturas 7 en lados opuestos, y grabados en las caras exteriores del sustrato dieléctrico 2. En dicha topología, que proporciona una respuesta frecuencial tipo pasa banda, se aprecian además uniones metálicas 6 estrechas, entre la tira conductora 3 y los planos de masa metálicos 4. El diseño del filtro 11, con respuesta tipo pasa banda, se basa en el hecho de que las uniones metálicas 6 entre la tira conductora 3 y los planos de masa metálicos 4 confieren a la estructura un comportamiento tipo plasma hasta una frecuencia (frecuencia plasma) que se controla con la anchura de las mencionadas uniones metálicas 6 y la separación entre las mismas, y que debe estar por encima de la frecuencia de resonancia de los resonadores de anillos abiertos 5a, 5b, 5c, 5d y 5e. Hasta dicha frecuencia plasma, las uniones metálicas 6 proporcionan al medio de propagación una permitividad efectiva con

valor negativo. Además el diseño del filtro 11 se basa en las dimensiones de los resonadores de anillos abiertos 5a, 5b, 5c, 5d y 5e, incluyendo la separación entre los mismos y su anchura, que no tiene por qué ser idéntica en cada anillo abierto 8 del resonador de anillos abiertos 5a, 5b, 5c, 5d y 5e. Dichas dimensiones determinan el valor de la frecuencia de resonancia del resonador de anillos abiertos 5a, 5b, 5c, 5d y 5e, mediante la cual se controla la posición de la banda de paso 13 del filtro 11, que comienza en la frecuencia de resonancia del resonador de anillos abiertos 5a, 5b, 5c, 5d y 5e. Los resonadores de anillos abiertos 5a, 5b, 5c, 5d y 5e, estando en acoplamiento magnético con el medio de propagación, confieren al medio de propagación un valor negativo de la permeabilidad efectiva en una región frecuencial angosta, extendiéndose la banda de paso 13 del filtro 11 en dicha región donde coexisten valores negativos de la permitividad y permeabilidad efectivas.

Al objeto de obtener una banda de paso 13 con bajas pérdidas de inserción, el medio de transmisión planar 1 (guía de onda coplanar enterrada) debe diseñarse con valores de la anchura de las ranuras 9 y de la tira conductora 3 para proporcionar un valor de la impedancia característica de dicho medio de transmisión planar 1 igual a  $50\Omega$ .

El filtro 11 se puede realizar también mediante otras topologías de resonadores de anillos abiertos 5 y con diferentes tipos de geometrías de tales resonadores de anillos abiertos 5 (redonda, cuadrada, y poliédrica en general). También es posible la realización del filtro 11 mediante resonadores de anillos abiertos complementarios 5 y *gaps* capacitivos en la tira conductora 3.

La figura 4 muestra el gráfico correspondiente a la respuesta frecuencial 12 (pérdida de inserción 12a y pérdida de retorno 12b) del filtro 11 descrito en la presente invención, con tres etapas de resonadores de anillos abiertos 5, donde se observan los bajos valores de pérdidas en la banda de paso 13 y el corte abrupto en las zonas de transición 14.

También se pueden realizar filtros de rechazo de banda con un diseño idéntico al descrito pero sin uniones metálicas 6 entre la tira conductora 3 y los planos de masa metálicos 4.

Con un diseño adecuado de las dimensiones de la estructura, las características de radiación de la misma son potenciadas permitiendo su empleo como antena elemental o en agrupación de las mismas como se muestra en la figura 5, en la que se observa un diagrama de radiación típico para una frecuencia de 6,5 GHz.

## REIVINDICACIONES

1. Filtro para microondas y ondas milimétricas, **caracterizado** por el hecho de que comprende un medio de transmisión planar (1) que incluye una tira conductora (3), plano de masa metálico (4) y sustrato dieléctrico (2) y por el hecho de que comprende por lo menos un resonador de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d, 5e y 5f).

2. Filtro según la reivindicación 1, **caracterizado** por el hecho de que los resonadores de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d y 5e) son metálicos y están dispuestos en acoplamiento magnético con el medio de transmisión planar.

3. Filtro según la reivindicación 2, **caracterizado** por el hecho de que existen uniones metálicas (6) entre la tira conductora (3) y el plano de masa metálico (4), comportándose como un filtro pasa banda.

4. Filtro según la reivindicación 2, **caracterizado** por el hecho de que la tira conductora (3) está separada eléctricamente del plano de masa metálico (4), comportándose como un filtro de rechazo de banda.

5. Filtro según la reivindicación 1, **caracterizado** por el hecho de que los resonadores de anillos abiertos (5f) son metálicos y están dispuestos en serie con la tira conductora (3).

6. Filtro según la reivindicación 1, **caracterizado** por el hecho de que dicho medio de transmisión planar (1) está basado en líneas de transmisión convencionales (coplanar, microtira, cinta) o variantes de las mismas.

7. Filtro según la reivindicación 1, **caracterizado** por el hecho de que los resonadores de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d, 5e y 5f) están grabados en el plano de masa metálico (4) siendo su superficie la negativa de la de los resonadores de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d, 5e y 5f) metálicos.

8. Filtro según la reivindicación 7, **caracterizado**

por el hecho de que para los resonadores de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d y 5e) existen brechas capacitivas en la tira conductora (3), comportándose como un filtro pasa banda.

9. Filtro según la reivindicación 7, **caracterizado** por el hecho de que para los resonadores de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d y 5e), la tira conductora (3) presenta continuidad, comportándose como un filtro de rechazo de banda.

10. Filtro según la reivindicación 7, **caracterizado** por el hecho de que para los resonadores de anillos abiertos (5f), la tira conductora (3) presenta continuidad, comportándose como un filtro pasa banda.

11. Filtro según la reivindicación 1, 2 y 7, **caracterizado** por el hecho de que comprende resonadores de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d y 5e) metálicos en acoplamiento magnético con el medio de transmisión planar (1) y resonadores de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) grabados en el plano de masa metálico (4).

12. Filtro según la reivindicación 1, **caracterizado** por el hecho de los anillos abiertos (8) son de geometría circular o poliédrica, presentan una pluralidad de elementos metálicos y/o aberturas (7) grabados en uno o más niveles de metal.

13. Filtro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por el hecho de que presenta múltiples bandas de paso (13) o de rechazo, con ancho de banda controlable mediante el número de aberturas (7) y/o la disposición de los resonadores de anillos abiertos (5a, 5b, 5c, 5d, 5e y 5f) y/o de su geometría.

14. Filtro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por el hecho de que es reconfigurable electrónicamente e incorpora interruptores microelectromecánicos (MEMS).

15. Antena para microondas y ondas milimétricas que comprende por lo menos un filtro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

Fig. 1

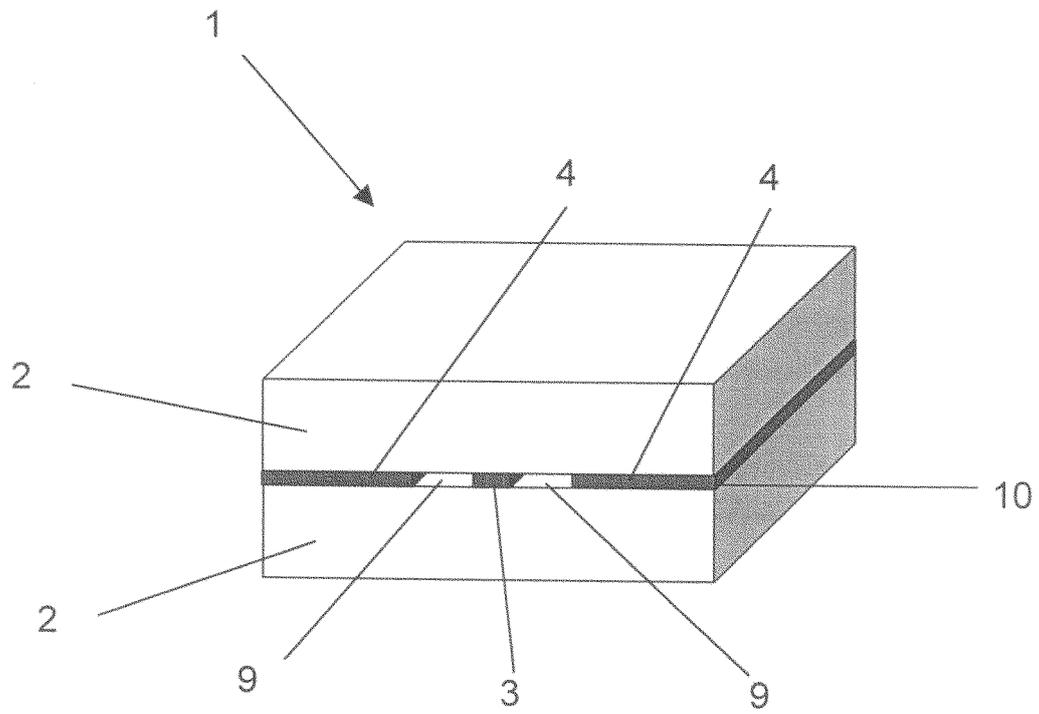


Fig. 2

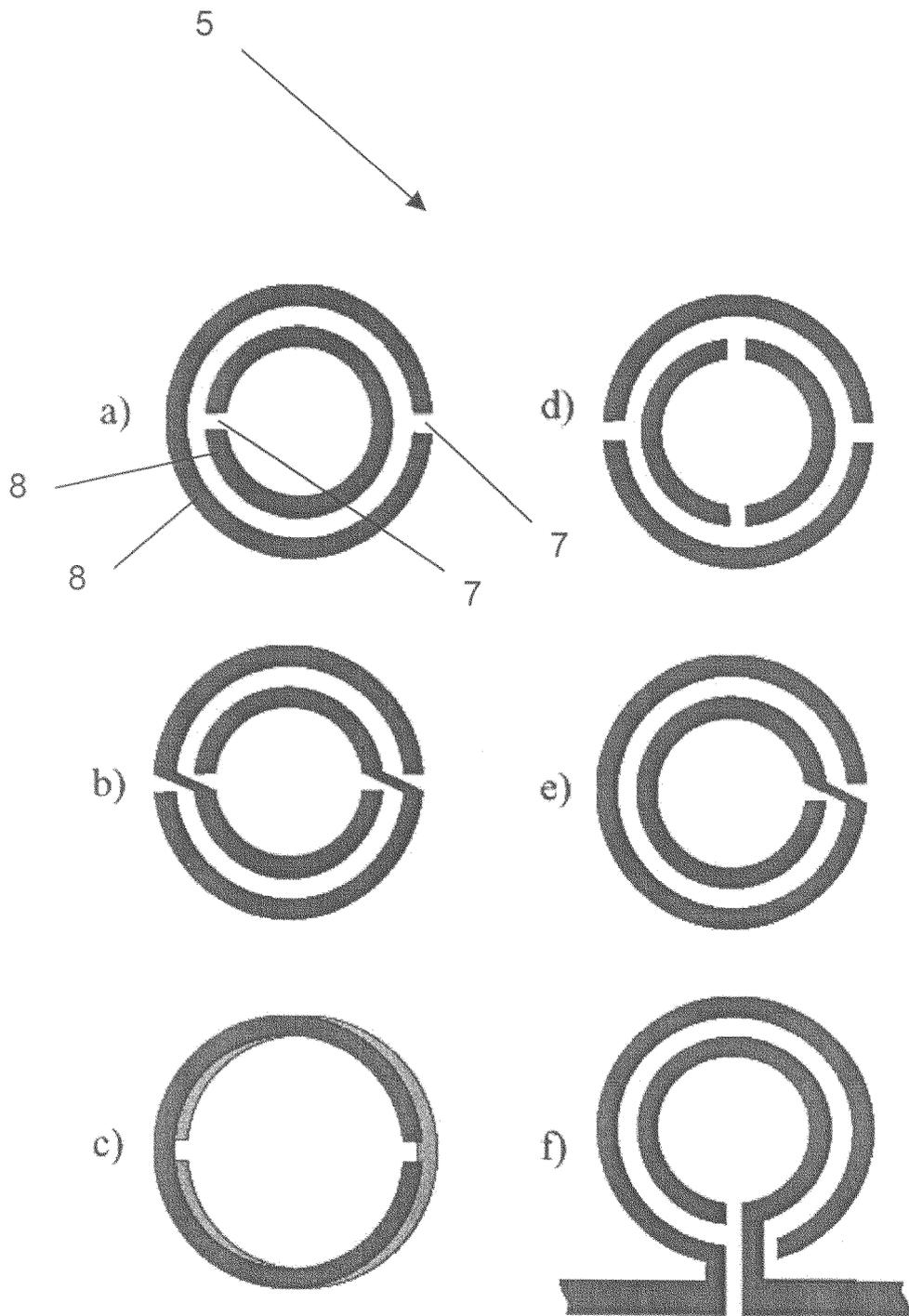


Fig. 3

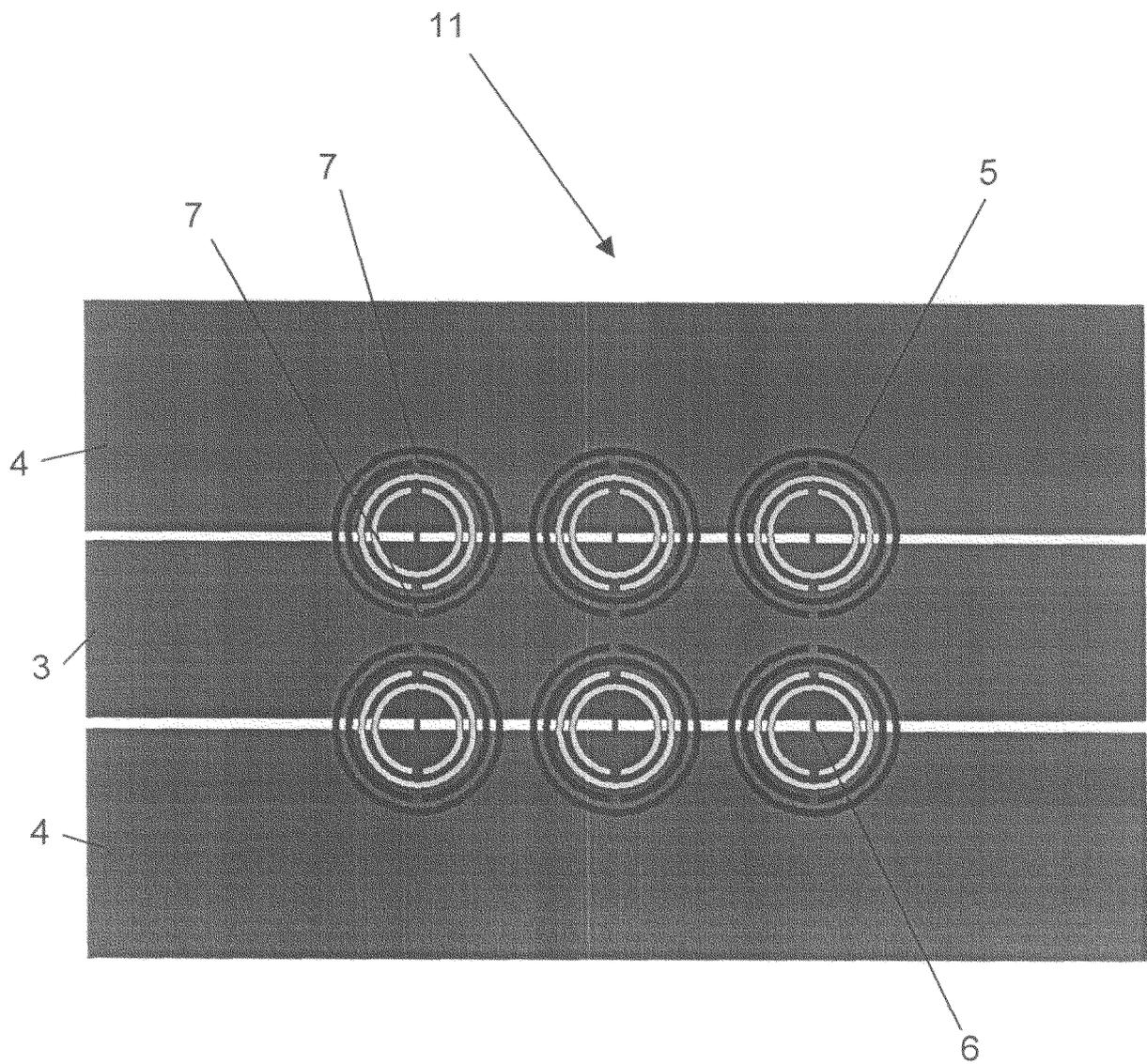


Fig. 4

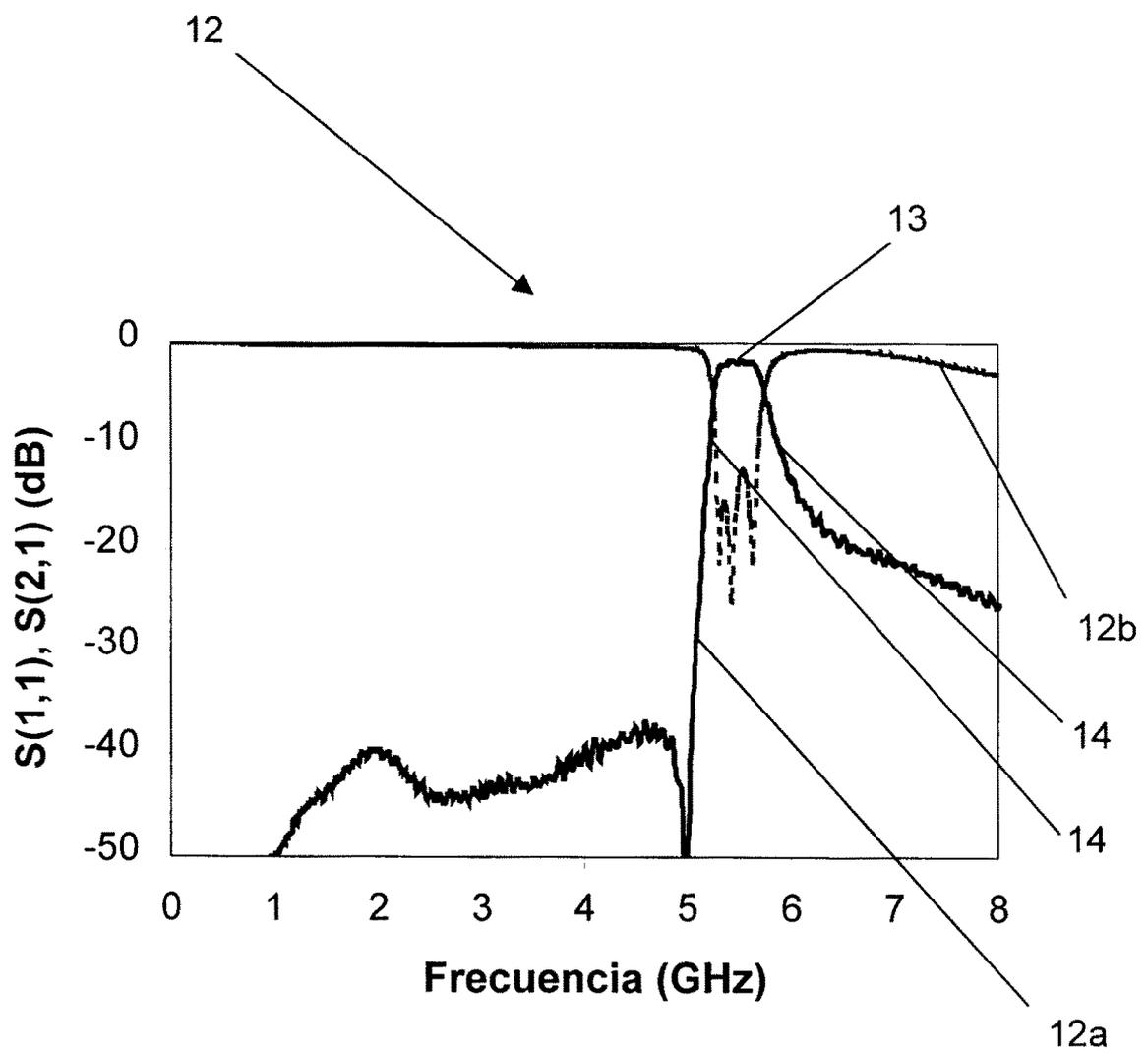
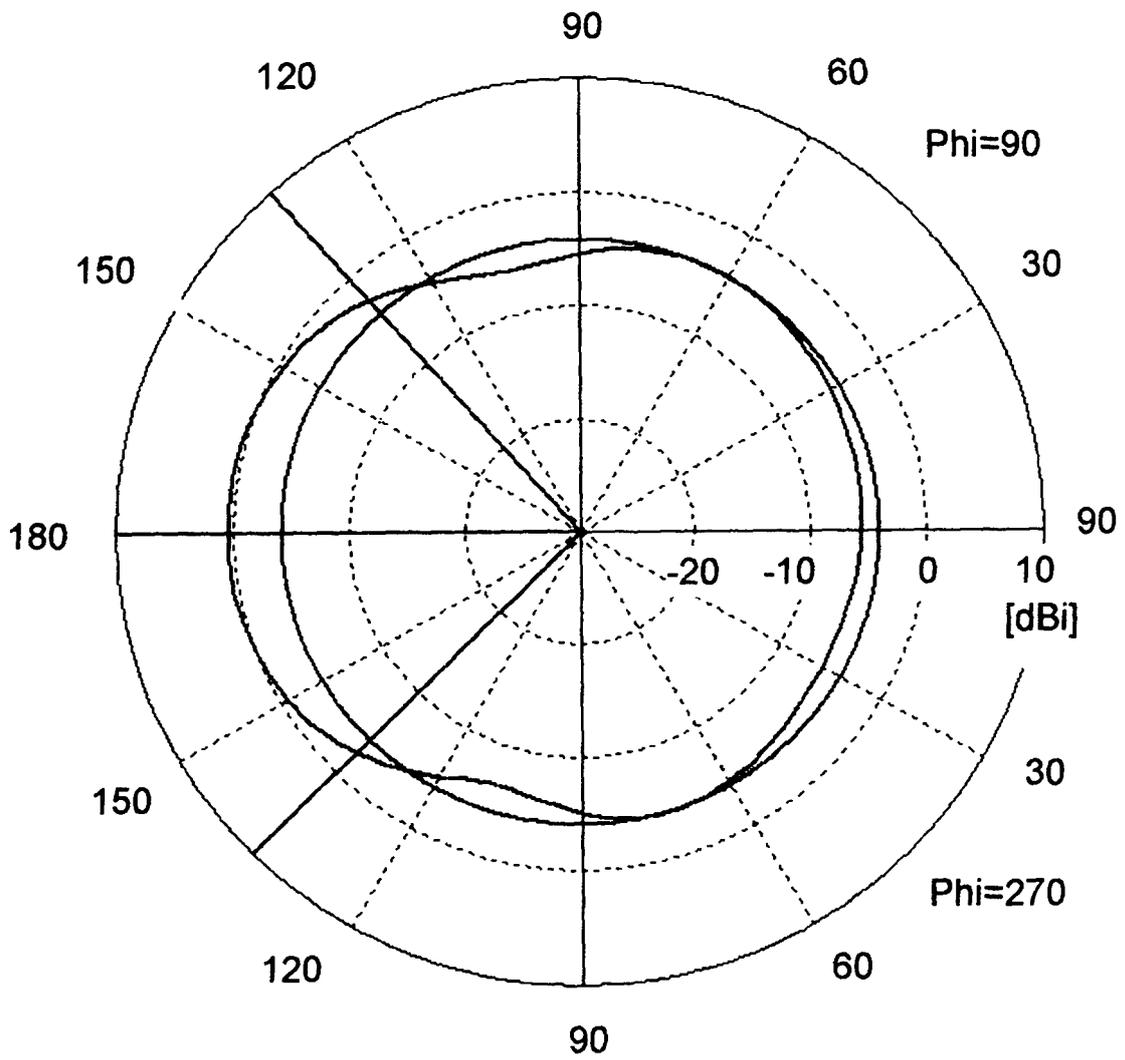


Fig. 5





OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 235 623

② Nº de solicitud: 200302282

③ Fecha de presentación de la solicitud: **25.09.2003**

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.7: H01P 1/203, H01Q 1/36

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	MARKOS et al. "Transmission properties and effective electromagnetic parameters of double negative metamaterials". Optics Express, Vol. 11, Nº 7, Abril 2003. Páginas 649-661.	1-13,15
Y	GRBIC et al.: "Experimental verification of backward-wave radiation from a negative refractive index metamaterial". Journal of Applied Physics, Vol. 92, Nº 10, Noviembre 2002. Páginas 5930-5935.	1-13,15
A	BAYINDIR et al.: "Transmission properties of composite metamaterials in free space". Applied Physics Letters, Vol. 81, Nº 1, Julio 2002. Páginas 120-122.	1-15
A	US 20010038325 A1 (SMITH et al.) 08.11.2001, párrafos 0031,0033,0034,0037-0041,0044,0050,0051,0056-0060,0077, 0078.	1-15

**Categoría de los documentos citados**

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

<b>Fecha de realización del informe</b> 31.05.2005	<b>Examinador</b> M. Pérez Formigó	<b>Página</b> 1/1
---	---------------------------------------	----------------------