



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 261 028**

② Número de solicitud: 200402064

⑤ Int. Cl.:  
**H01P 1/20** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **20.08.2004**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.11.2006**

Fecha de la concesión: **10.10.2007**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **16.11.2007**

⑰ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**16.11.2007**

⑲ Titular/es: **Universidad Pública de Navarra  
Campus de Arrosadía, s/n  
(OTRI) Edificio El Sario  
31006 Pamplona, Navarra, ES  
Universidad de Sevilla y  
Universidad Autónoma de Barcelona**

⑳ Inventor/es: **Sorolla Ayza, Mario;  
Beruete Díaz, Miguel;  
Falcone Lanás, Francisco;  
Ortiz Pérez de Eulate, Noelia;  
Baena Doello, Juan Domingo;  
Marqués Sillero, Ricardo;  
Martín Antolín, Juan Fernando;  
Bonache Albacete, Jordi;  
Gil Galí, Ignacio y  
García García, Joan José**

㉑ Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

㉒ Título: **Filtro y superficies selectivas en frecuencia.**

㉓ Resumen:

Filtro y superficies selectivas en frecuencia que comprenden un medio (11) de propagación guiado para energía electromagnética adaptado para alojar anillos (12) resonantes abiertos y/o anillos (12) resonantes abiertos complementarios dispuesto en un plano (13) transversal a la dirección de propagación del medio de propagación guiado.

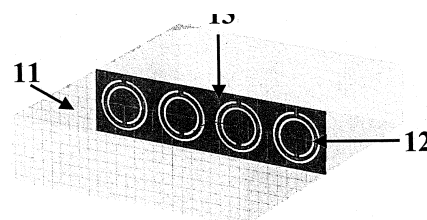


FIG. 1

ES 2 261 028 B1

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

## DESCRIPCIÓN

Filtro y superficies selectivas en frecuencia.

### Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un filtro que comprenden un medio de propagación guiado y resonadores de anillos abiertos o/y resonadores de anillos abiertos complementarios que permite, para el caso de propagación en espacio libre, obtener superficies selectivas en frecuencia para transmitir y recibir ondas electromagnéticas.

### Estado de la técnica

Son conocidas las estructuras periódicas basadas en partículas denominadas resonadores de anillos abiertos para sintetizar respuestas en frecuencia con 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. Es 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 de la frecuencia 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, que emula un plasma unidimensional, produciendo una permitividad dieléctrica negativa por debajo del corte.

Por otra parte, asimismo es conocido que 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 tec-

nologías microelectrónicas), pues se trata de estructuras tridimensionales.

Otra importante limitación de las citadas estructuras 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.

Finalmente, también son conocidas estructuras basadas en líneas de transmisión planas y en resonadores de anillos abiertos (para emular la permeabilidad magnética negativa) con y sin cortocircuitos dispuestos periódicamente en dicha línea de transmisión. Mediante la disposición de dichos cortocircuitos se consigue emular un plasma escalado a frecuencias de microondas o milimétricas con permitividad dieléctrica negativa en un amplio rango frecuencial. También son conocidas sus estructuras complementarias basadas en resonadores de anillos abiertos complementarios (que emulan la permitividad dieléctrica negativa) con y sin interrupciones (gap) capacitivas en serie. La presencia de dichas interrupciones proporciona un valor negativo de la permeabilidad magnética efectiva del medio. También son conocidas las estructuras basadas en líneas de transmisión planas y en anillos resonantes colocados en serie para diseñar filtros paso banda.

Dichas estructuras, forman metamateriales que se emplean en el diseño de filtros y antenas en tecnología plana.

Por tanto, se hace necesario desarrollar un filtro guía de ondas que comprenda resonadores de anillos abiertos o/y resonadores de anillos abiertos complementarios y, como consecuencia, conseguir superficies selectivas en frecuencia que tengan un reducido tamaño y pueda ser fabricado con un coste razonable.

### Caracterización de la invención

La presente invención busca resolver o reducir uno o más de los inconvenientes expuestos anteriormente por medio de un filtro y superficies selectivas en frecuencia como es reivindicado en la reivindicación 1. Realizaciones de la invención son establecidas en las reivindicaciones dependientes.

Un objeto de la presente invención es implementar un filtro comprendiendo un medio de propagación guiado para ondas electromagnéticas que aprovecha las propiedades de los anillos resonantes abiertos y de los anillos resonantes abiertos complementarios para que reaccionen ante la presencia de energía electromagnética normal a la superficie de la estructura periódica formada por agrupaciones bidimensionales de anillos resonantes abiertos o/y anillos resonantes abiertos complementarios.

Otro objeto de la presente invención es aprovechar las propiedades de bianisotropía de los anillos mediante las que reaccionan ante campos electromagnéticos tangenciales a los anillos, que posibilitan emplear esta singular propiedad para diseñar superficies selectivas en frecuencia de alta densidad, es decir, estructuras periódicas bidimensionales operativas a frecuencias de microondas y milimétricas.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar una discriminación de las ondas electromagnéticas según sea su polarización, paralela o normal al plano de simetría del anillo, y de este modo construir dispositivos polarizadores, teniendo en cuenta que la

excitación por campo electromagnético transversal se produce exclusivamente para el caso en que dichos campos sean perpendiculares a la línea que une los cortes del anillo, es decir, campos perpendiculares al plano de simetría de la particular.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar superficies selectivas en frecuencia para lograr su extensión a la realización de filtros en guía de onda basados en anillos complementarios, aprovechando el hecho que una estructura periódica bidimensional puede analizarse, para el caso de incidencia normal de una onda electromagnética, como un problema equivalente de guía de onda rectangular, formada por un elemento unitario de la estructura periódica que es perpendicular a las paredes al medio de propagación guiado.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar otras estructuras de guiado tal como cable coaxial, guías circulares, elípticas, sectorial, cuasióptica, o similares.

Los filtros de guía de ondas con superficies selectivas en frecuencia presentan ventajas tales como dimensiones muy reducidas, consecuencia de 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; alta densidad de partículas por unidad de superficie selectiva en frecuencia; bajas pérdidas de inserción en la banda de paso; elevada selectividad frecuencial, consecuencia del elevado factor de calidad de los resonadores de anillos; posibilidad de discriminación según la polarización de la onda electromagnética incidente; menor dependencia de las propiedades selectivas en frecuencia y en polarización con el ángulo de incidencia de la onda sobre la superficie selectiva en frecuencia; diseño muy simple y proceso de fabricación compatible con las tecnologías de fabricación de circuitos impresos e integrados.

#### Breve enunciado de las figuras

Ahora serán descritos dispositivos que materializan la invención, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los que:

- la figura 1 ilustra esquemáticamente un filtro con un medio de propagación de ondas de acuerdo a la invención,

- la figura 2 ilustra esquemáticamente un anillo resonador abierto (SRR) y un anillo resonador abierto complementario (CSRR) de acuerdo a la invención,

- la figura 3 ilustra esquemáticamente algunas topologías de anillos resonadores abiertos de acuerdo a la invención,

- la figura 4 ilustra esquemáticamente una realización alternativa del filtro con un medio de propagación de ondas de acuerdo a la invención,

- la figura 5 ilustra un gráfico de la respuesta en frecuencia del filtro con un medio de propagación de ondas de acuerdo a la invención,

- la figura 6 es una vista en perspectiva de otra realización alternativa del filtro de acuerdo a la invención,

- la figura 7 es una vista en alzado, en sección por un plano vertical, de una realización alternativa del filtro de acuerdo a la invención,

- la figura 8 es una vista en perspectiva de otra realización alternativa del filtro de acuerdo a la invención, y

- la figura 9 ilustra un gráfico de la respuesta en

frecuencia para incidencia normal de ondas electromagnéticas para los anillos resonantes abiertos en su funcionamiento como superficies selectivas en frecuencia de acuerdo a la invención.

#### Descripción de la invención

A continuación, con referencia a la figura 1, se encuentra esquemáticamente ilustrado un filtro para microondas y ondas milimétricas, que comprenden un medio 11 de propagación guiado tal como una guía de ondas sustancialmente rectangular, en la cual está localizado un medio 13 resonador que incluye anillos 12 resonantes abiertos complementarios CSRR para que reaccionen ante la presencia de un campo magnético y/o eléctrico normal a la superficie de la estructura 12 periódica formada por agrupaciones bidimensionales de anillos resonantes abiertos o/y anillos resonantes abiertos complementarios.

Las ondas electromagnéticas son alimentadas a través de una apertura de entrada de la guía de ondas 11 y se propagan a lo largo de la misma saliendo a través de la boca de la guía 11, apertura de salida, siendo radiadas al espacio.

En relación con las figuras 2 y 3, los resonadores de anillos 12 abiertos SRR comprenden al menos un par de anillos metálicos concéntricos (mismo nivel) o bien dispuestos uno encima del otro, con aberturas en algún punto de los mismos al efecto de conseguir una estructura resonante. El medio 13 resonador puede comprender únicamente elementos unitarios de anillos 12 resonantes o/y sus complementarios que replicados periódicamente en las dos dimensiones de un plano pueden formar una superficie selectiva en frecuencia.

En relación ahora con la figura 2, se ilustra un anillo resonante abierto SRR y su complementario CSRR, que si son replicados periódicamente en las dos dimensiones de un plano se forma una superficie selectiva en frecuencia, no mostrado.

La figura 3 muestra algunos ejemplos de resonadores de anillos 12 abiertos, los cuales se caracterizan por presentar dos anillos metálicos no cerrados, es decir, con aberturas en algún punto.

En relación ahora con la figura 9, la superficie selectiva en frecuencia podría consistir en una agrupación periódica bidimensional, con cualquiera de las configuraciones de anillos sus complementarios mostrados en la figura 3, incluyendo un sustrato recubriendo una o ambas caras del plano que forma la superficie selectiva en frecuencia, o cualquier otro tipo de configuración con múltiples capas metálicas y dieléctricas; obteniéndose una respuesta en frecuencia como la mostrada en la figura 9.

En relación con las figuras 1, 4, 6, 7 y 8, el diseño del filtro se basa en que las dimensiones de los resonadores de anillos 12, incluyendo la separación entre los mismos y su anchura no tiene por qué ser idéntica en cada anillo. Dichas dimensiones determinan el valor de la frecuencia de resonancia del resonador de anillos 13, mediante la cual se controla la posición de la banda de paso del filtro 10.

Los anillos 12 resonantes están fabricados mediante metalización y los complementarios 12 mediante excavación sobre una placa metálica, no siendo descritos en detalle por ser conocidos en el estado de la técnica.

Para la realización de los filtros y superficies selectivas en frecuencia de altas prestaciones es conveniente el uso de sustratos con bajas pérdidas dieléctricas.

tricas para obtener respuestas en frecuencia con las menores pérdidas posibles en la banda de paso de los mencionados filtros y superficies selectivas en frecuencia, figura 5 y 9, respectivamente.

La figura 5 muestra el gráfico de la respuesta en frecuencia (pérdida de inserción y pérdida de retorno) del filtro de la figura 4 con varias etapas de resonadores separadas mediante trozos de guía o línea de transmisión, donde se observan los bajos valores de pérdidas en la banda de paso y el corte abrupto en las zonas de transición.

Las figuras 6 y 7 muestra la topología de otro filtro con guía de ondas realizado en coaxial 11. Este tipo de topologías proporciona una respuesta en frecuencia tipo pasa banda. El diseño del filtro, con respuesta tipo pasa banda, se basa en el hecho de que los anillos complementarios poseen intrínsecamente una respuesta paso banda. También es posible la realización del filtro, en tecnología coaxial, mediante resonadores de anillos convencionales combinados con separaciones capacitivas en la tira central conductora y/o uniones metálicas entre dicha tira conductora y el conductor exterior (plano de masa).

El filtro con superficie selectiva en frecuencia que comprenden un medio de propagación guiado coaxial de modo que el conductor central es la guía de onda y está aislado eléctricamente del conductor externo de dicho cable coaxial comportándose como un filtro de rechazo de banda.

También se pueden realizar superficies selectivas en frecuencia basado en una agrupación periódica bidimensional, con cualquiera de las configuraciones de anillos a) a f) o sus complementarios, figuras 2 y 3.

Es remarcable que las propiedades de la estructu-

ra 13 resonante cambian muy poco con el ángulo de incidencia de la radiación respecto a la normal de la estructura.

Asimismo, es posible la concatenación de varias de estructuras 13 resonantes para lograr una respuesta e frecuencia adecuada que, además, es sensible a la polarización, ver figura 8.

En cuanto al medio 11 de propagación guiado puede ser cualquier tipo de guía de onda (rectangular, circular, elíptica, coaxial, sectorial,...), así como la propagación en el espacio libre. El filtro se puede realizar también mediante otras topologías de resonadores de anillos abiertos y con diferentes tipos de geometrías de tales resonadores (cuadrada, y poliédrica en general).

En consecuencia, tanto el filtro como la superficie selectiva se reconfiguran electrónicamente e incorporan diodos varactores o interruptores microelectromecánicos (MEMS).

Un filtro con superficie selectiva en frecuencia que comprende un medio de propagación guiado para energía electromagnética como los descritos anteriormente pueden ser montados en un radomo y/o polarizador.

Se ha de observar que para realizar una mejor descripción del presente invento se ha utilizado un filtro de guía de ondas en sección transversal rectangular como un ejemplo, pudiéndose usar el invento en filtros de guía de ondas con otras formas de sección transversal tal como guías elípticas, sectorial, cuasióptica o similares. Un técnico en el campo del invento puede hacer variaciones evidentes a fin de utilizarlo en otros tipos de filtros y/o antenas.

## REIVINDICACIONES

1. Filtro con superficie selectiva en frecuencia que comprenden un medio de propagación guiado para energía electromagnética; **caracterizado** porque el medio (11) de propagación guiado está adaptado para alojar al menos un anillo (12) resonante abierto dispuesto en un plano (13) transversal a la dirección de propagación del medio (11) de propagación guiado.

2. Filtro de acuerdo a la reivindicación 1; **caracterizado** porque el medio (11) de propagación guiado está adaptado para alojar al menos un anillo (12) resonante abierto complementario dispuesto en un plano (13) transversal a la dirección de propagación del medio (11) de propagación guiado.

3. Filtro de acuerdo a la reivindicación 1 o 2; **caracterizado** porque el medio (11) de propagación guiado está adaptado para alojar un número predeterminado de anillos (12) resonantes abiertos y/o anillos (12) resonantes abiertos complementarios dispuestos en un plano (13) transversal a la dirección de propagación del medio (11) de propagación guiado.

4. Filtro de acuerdo a la reivindicación 3; **caracterizado** porque el medio (11) de propagación guiado está adaptado para alojar un número predeterminado de anillos (12) resonantes abiertos y/o anillos (12) resonantes abiertos complementarios espaciados a ciertas distancias entre ellos y grabados sobre uno o más planos conductores perpendiculares a la dirección de propagación del medio (12) de propagación guiado.

5. Filtro de acuerdo a la reivindicación 4; **caracterizado** porque los anillos (12) resonantes abiertos y/o anillos (12) resonantes abiertos complementarios pueden ser de geometría circular o poliédrica.

6. Filtro de acuerdo a la reivindicación 5; **caracterizado** porque los anillos (12) resonantes abiertos y sus complementarios pueden ser agrupados en agrupaciones bidimensionales de anillos resonantes abiertos o/y anillos resonantes abiertos para formar una superficie selectiva en frecuencia.

7. Filtro de acuerdo a la reivindicación 6; **caracterizado** porque el medio (11) de propagación guiado es una guía de ondas coaxial, de manera que los anillos (12) resonadores abiertos están dispuestos en acoplamiento magnético con dicha guía de ondas.

8. Filtro de acuerdo a la reivindicación 7; **caracterizado** porque existen uniones metálicas entre un conductor central de dicha guía de ondas coaxial y un conductor externo de dicha guía y/o interrupciones capacitadas en el conductor central, comportándose como un filtro pasa banda.

9. Filtro de acuerdo a la reivindicación 7; **caracterizado** porque el conductor central de dicha guía de ondas coaxial y el conductor externo de dicha guía es-

tán aislados eléctricamente, comportándose como un filtro de rechazo de banda.

10. Filtro de acuerdo a la reivindicación 7; **caracterizado** porque la guía de ondas coaxial los anillos (12) resonadores abiertos están dispuestos en serie a lo largo del conductor central de dicha guía de ondas coaxial.

11. Filtro de acuerdo a la reivindicación 8; **caracterizado** porque el filtro pasa banda puede comprender un medio (11) de propagación de ondas tal como una guía de ondas coaxial, rectangular, circular, elíptica, o cualquier otra guía de onda de paredes metálicas cerradas.

12. Filtro de acuerdo a cualquiera de las anteriores reivindicaciones; **caracterizado** porque el filtro presenta múltiples bandas de paso o rechazo, con ancho de banda controlable mediante el número de aberturas, la disposición y geometría de los anillos resonantes abiertos.

13. Filtro de acuerdo a la reivindicación 8; **caracterizado** porque el filtro está adaptado para ser reconfigurado electrónicamente e incorpora diodos varactores o interruptores microelectromecánicos (MEMS).

14. Superficie selectiva en frecuencia de acuerdo a la reivindicación 6; **caracterizado** porque comprende agrupamientos bidimensionales de cualquiera de las topologías de anillos (12) resonadores abiertos y/o de anillos (12) resonadores abiertos complementarios.

15. Superficie selectiva en frecuencia de acuerdo a la reivindicación 14; **caracterizado** porque la superficie selectiva en frecuencia está formada por apilamiento de diversas estructuras elementales.

16. Superficie selectiva en frecuencia de acuerdo a la reivindicación 15; **caracterizado** porque la superficie selectiva presenta múltiples bandas de paso o rechazo, con ancho de banda controlable mediante el número de aberturas, la disposición y geometría de los anillos resonantes abiertos.

17. Superficie selectiva en frecuencia de acuerdo a la reivindicación 15; **caracterizado** porque la superficie selectiva en frecuencia está adaptado para ser reconfigurado electrónicamente e incorpora diodos varactores o interruptores microelectromecánicos (MEMS).

18. Radomo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores; **caracterizado** porque un filtro con superficie selectiva en frecuencia que comprende un medio de propagación guiado para energía electromagnética es proporcionado.

19. Polarizador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores; **caracterizado** porque un filtro con superficie selectiva en frecuencia que comprende un medio de propagación guiado para energía electromagnética es proporcionado.

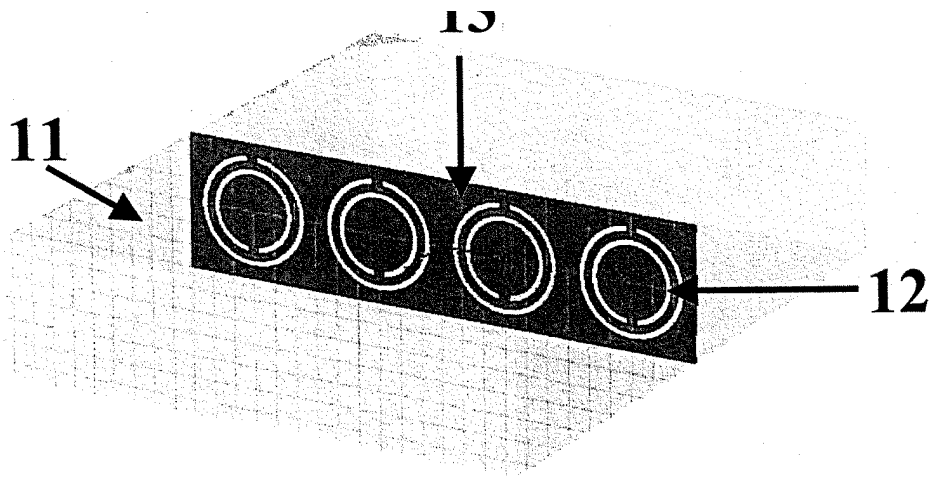


FIG. 1

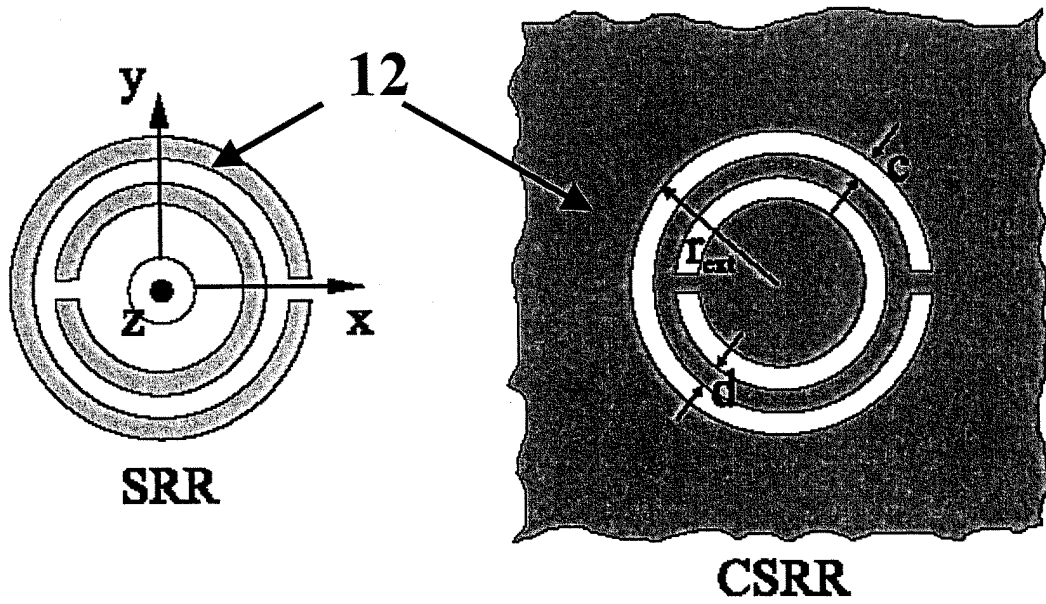
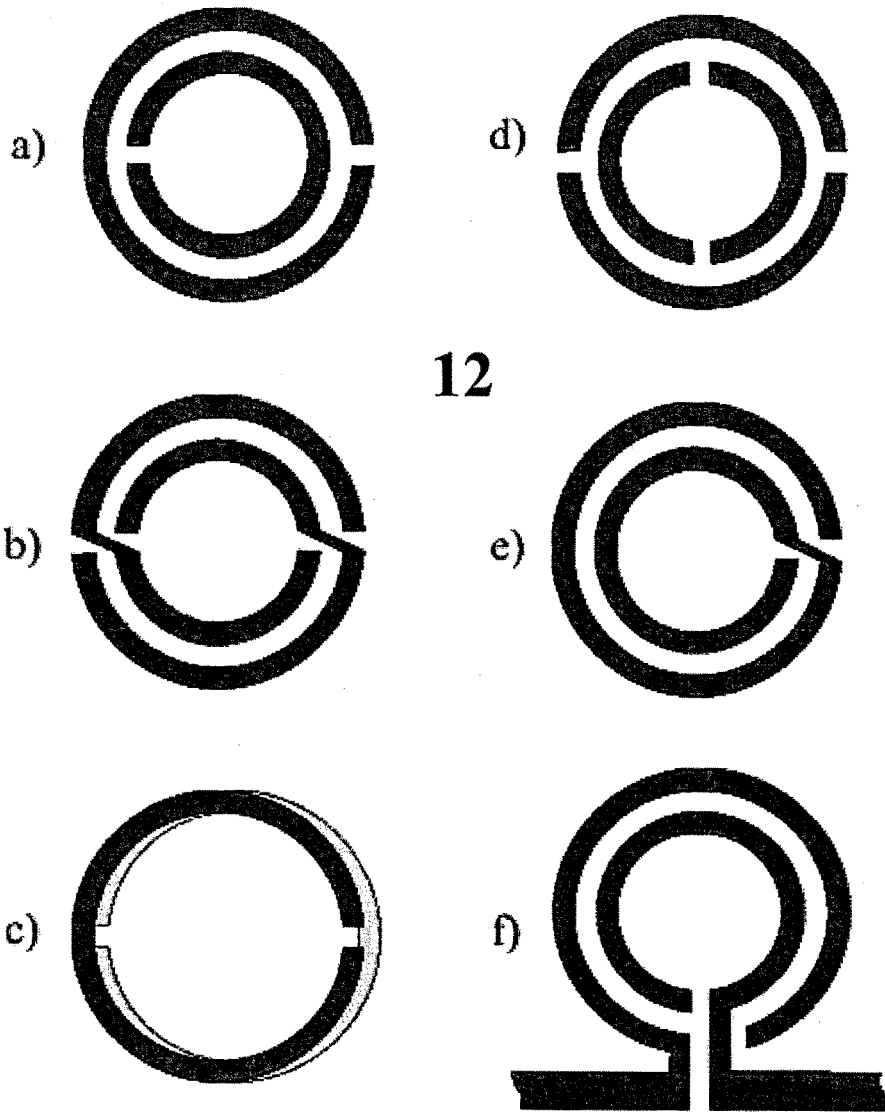


FIG. 2



12

FIG. 3

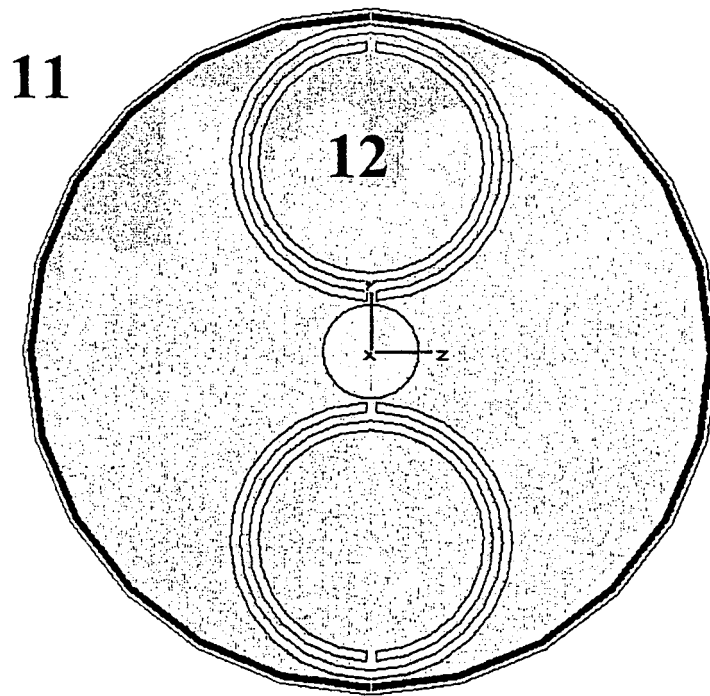
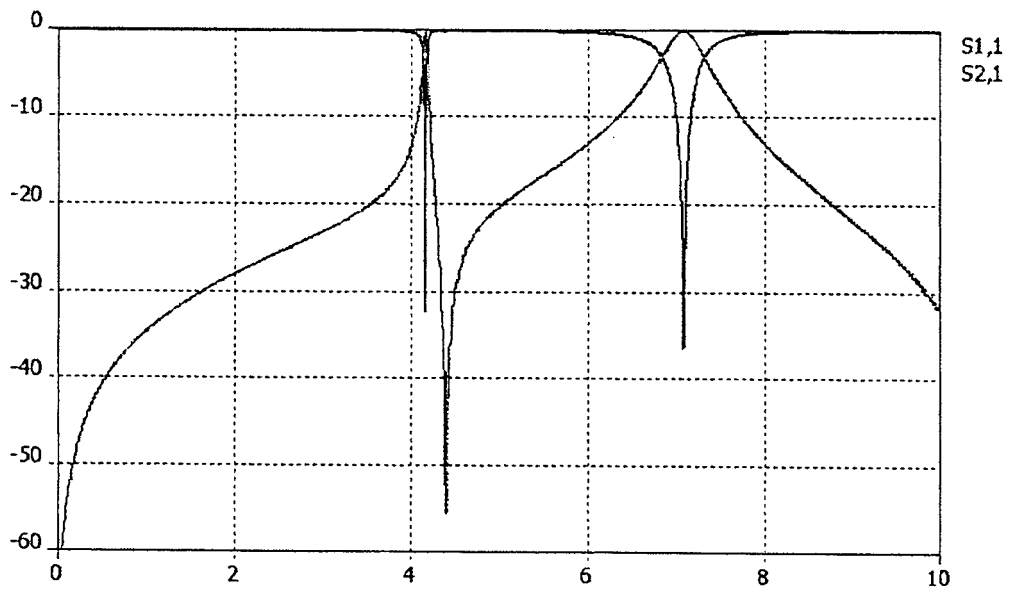


FIG. 4

Magnitud parámetro S dB



Frecuencia GHz

FIG. 5



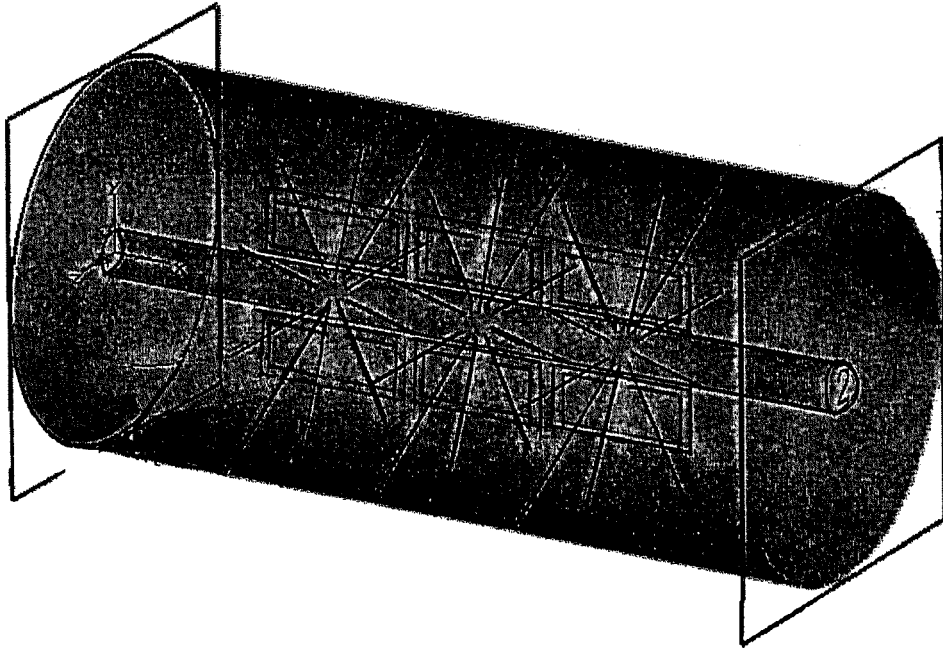


FIG. 6

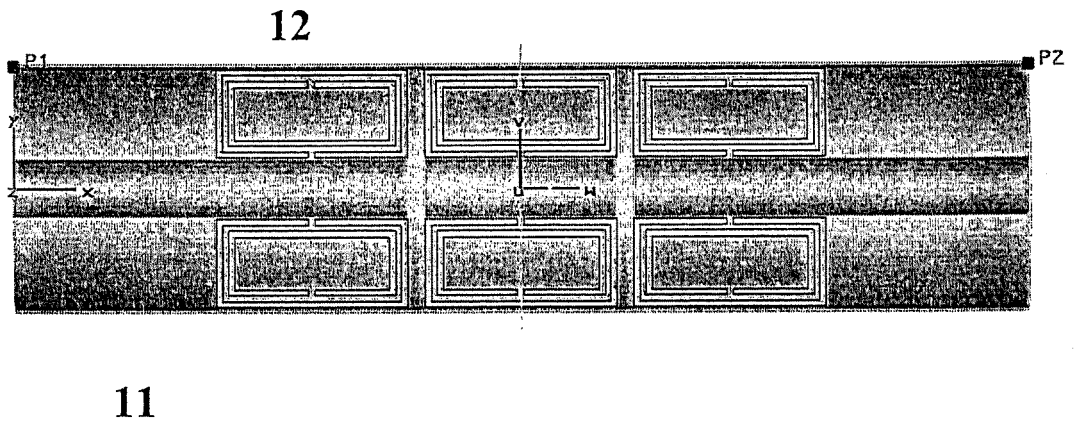
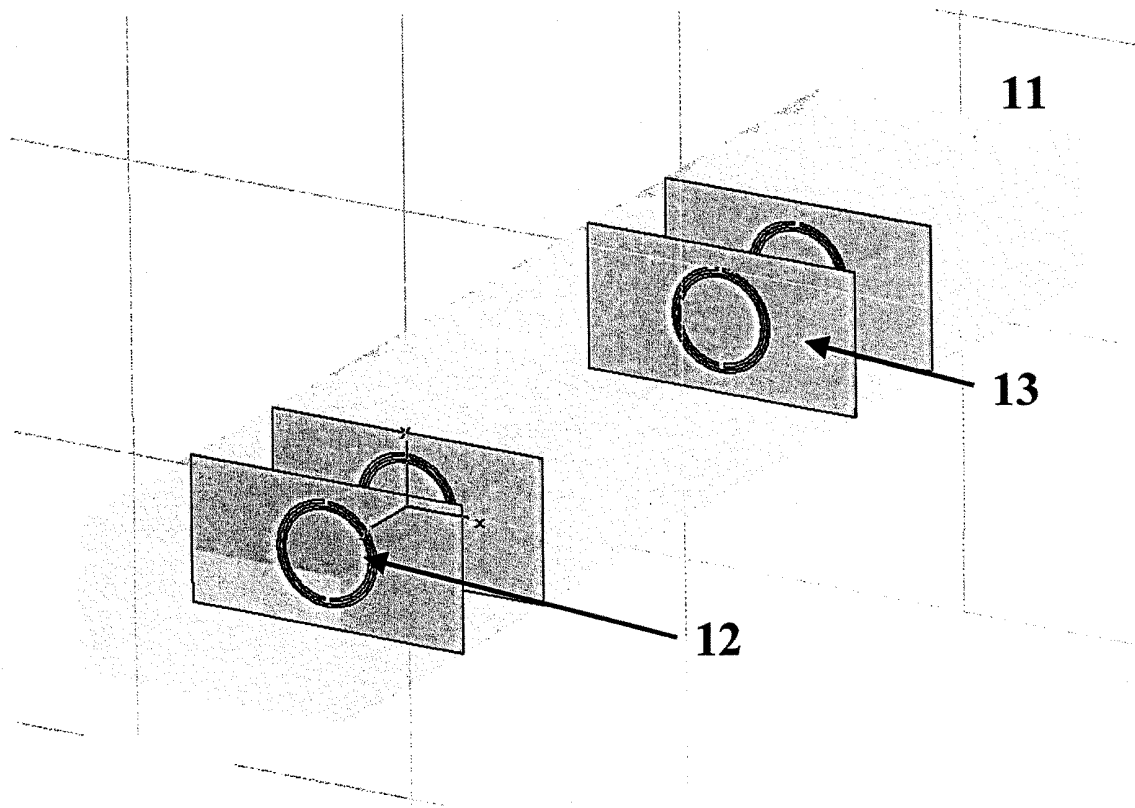
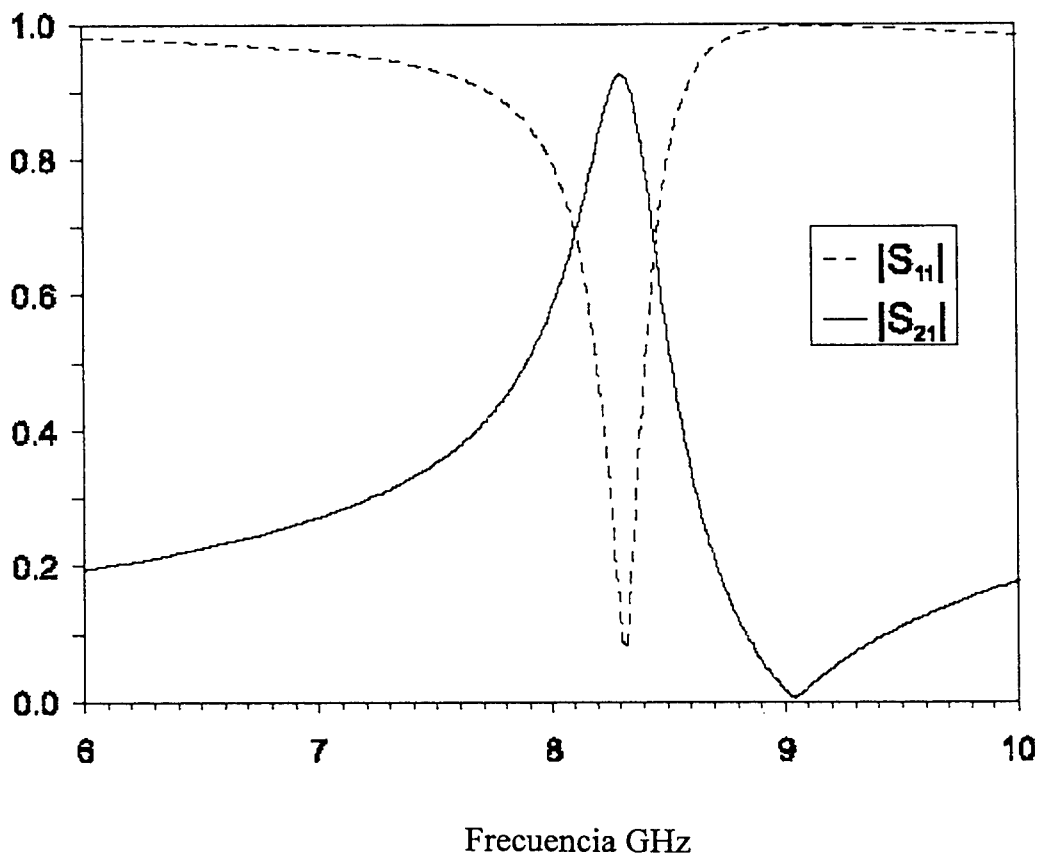


FIG. 7



**FIG. 8**



**FIG. 9**



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 261 028

② Nº de solicitud: 200402064

③ Fecha de presentación de la solicitud: 20.08.2004

④ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **H01P 1/20** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	EP 1184930 A1 (NORSAT INTERNATIONAL INC.) 06.03.2002, todo el documento.	1-6,14-16
A	GB 605253 A (SPERRY GYROSCOPE COMPANY INC.) 19.07.1948, todo el documento.	7-12
A	US 6137381 A (REMILLARD et al.) 24.10.2000, todo el documento.	1-17
A	US 5616540 A (LITHGOW et al.) 01.04.1997, todo el documento.	1-17

#### 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:

Fecha de realización del informe

02.10.2006

Examinador

J. Botella Maldonado

Página

1/1