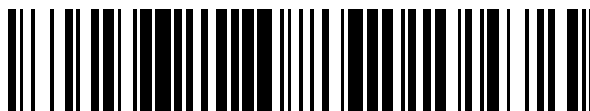


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 039**

51 Int. Cl.:  
**H01P 1/203** (2006.01)  
**H01P 3/08** (2006.01)

12

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07021125 .5**  
96 Fecha de presentación: **29.10.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1919024**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.05.2008**

54 Título: **Dispositivo para la propagación de ondas electromagnéticas con constante dieléctrica modulada**

30 Prioridad:  
**03.11.2006 IT RA20060064**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**12.09.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**12.09.2012**

73 Titular/es:  
**SISVEL TECHNOLOGY S.R.L.**  
**VIA CASTAGNOLE, 59**  
**10060 NONE (TORINO), IT**

72 Inventor/es:  
**Matekovits, Ladislau;**  
**Vietti Colome', Guillermo Carlos;**  
**Pirinoli, Paola y**  
**Orefice, Mario**

74 Agente/Representante:  
**Curell Aguilá, Mireia**

**ES 2 387 039 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo para la propagación de ondas electromagnéticas con constante dieléctrica modulada.

5 La presente invención se refiere al campo de la propagación de ondas electromagnéticas. Más detalladamente, la presente invención se refiere a la propagación de ondas electromagnéticas a través de una estructura microbanda con una constante dieléctrica que varía en el interior de la estructura. En particular, la presente invención se refiere a un dispositivo que se utiliza como soporte para la propagación de las ondas electromagnéticas y que comprende una capa de material dieléctrico y por lo menos una capa conductora o pista conductora, siendo modulada la constante dieléctrica relativa del dispositivo por la forma de dicha capa conductora o pista conductora. Más detalladamente, la presente invención se refiere a un dispositivo apto para la propagación de las ondas electromagnéticas en el cual la constante eléctrica es modulada periódicamente a lo largo de una dirección predeterminada mediante una variación periódica de la forma de dicha capa conductora a lo largo de la misma dirección predeterminada. Más detalladamente, la presente invención se refiere a un dispositivo que es apto para la propagación de las ondas electromagnéticas, cuya constante dieléctrica efectiva se modula sinusoidalmente a lo largo de una dirección predeterminada mediante una variación periódica de la forma de dicha capa conductora a lo largo de la misma dirección. Dicha variación periódica y/o sinusoidal puede tener en cuenta la anchura de dicha capa conductora, su grosor o dichas dos características.

#### 20 Descripción del estado de la técnica

En los últimos años, se ha evidenciado un interés creciente por los materiales que presentan una estructura de bandas electromagnéticas (conocidos como materiales EBG), lo cual significa que los materiales presentan una frecuencia selectiva y, por lo tanto, permiten la propagación de ondas electromagnéticas de una frecuencia determinada, mientras que bloquean la propagación de ondas de otras frecuencias. Este fenómeno presenta fuertes similitudes con la estructura de bandas de los materiales con estructura cristalina. Como es sabido por la física de estado sólido, existen materiales tales como los semiconductores que presentan una estructura de bandas de energía tal que un electrón puede tener sólo valores energéticos que correspondan a una banda de energía permitida y no puede tener valores que correspondan a una banda prohibida. Similarmente a los materiales semiconductores, que permiten la conducción de electrones con una energía comprendida en una banda de conducción, los materiales EBG permiten la propagación de ondas electromagnéticas con frecuencias comprendidas en bandas o intervalos determinados mientras que bloquean la propagación de ondas con frecuencias exteriores a dichas bandas o intervalos.

35 Los materiales EBG se han ido utilizando cada vez más ampliamente en aplicaciones de antena, por ejemplo en antenas de onda de fuga, antenas de lentes o también reducción de acoplamiento de ondas de superficie entre antenas, etc. (ver, por ejemplo: Fan, Y.; Rahmat-Samil, Y.; "Microstrip antennas integrates with electromagnetic band-gap (EBG) structures: low mutual coupling design for array applications" IEEE Trans. AP. pág. 2936-2946, Octubre 2003).

40 El comportamiento EBG puede obtenerse de formas diferentes, por ejemplo disponiendo cargas reactivas, con parámetros concentrados o distribuidos, inferiores a la longitud de onda de la onda que se propaga en el dispositivo o mediante modulación de las propiedades electromagnéticas de los medios de comunicación.

45 En particular, la modulación de las propiedades electromagnéticas de una estructura puede obtenerse utilizando diferentes técnicas, por ejemplo la modulación de sus características físicas, es decir, disponiendo materiales de constantes dieléctricas diferentes uno al lado de otro o uno sobre otro o utilizando materiales electroópticos, materiales que cambian sus propiedades dieléctricas al ser sometidos a la aplicación de campos magnéticos. Además, la modulación de los parámetros del material puede alcanzarse perforando agujeros en el material dieléctrico. Puede realizarse una caracterización completa del material EBG mediante un diagrama de dispersión, que representa el número de ondas en función de la frecuencia de las ondas electromagnéticas (ver, por ejemplo: Brillouin, L. "Wave Propagation in periodic structures", New York: Dover 1953.

Pueden encontrarse ejemplos de estructuras microbanda en:

55 LE ROY M *ET AL*: "Novel Circuit models of Arbitrary-Shape Line: Application to Parallel Coupled Microstrip Filters with Suppression of Multi-Harmonic Responses" 2005 EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE CNIT LA DEFENSE, PARIS, FRANCE OCT. 4-6, 2005, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 4 October 2005 (2005-10-04), pages 921-924, XP010903914 ISBN: 2-9600551-2-8

60 KIANG J-F *ET AL*: "Transmission properties of microstrip lines with a periodical ground plane" MICROWAVE CONFERENCE, 2001. APMC 2001. 2001 ASIA-PACIFIC DECEMBER 3-6, 201, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, vol. 1, 3 December 2001 (2001-12-03), pages 67-70, XP010578889 ISBN: 0-7803-7138-0

LE ROY M *ET AL*: "A new design of microwave filters by using continuously varying transmission lines" MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, 1997., IEEE MTT-S INTERNATIONAL DENVER, CO, USA 8-13 JUNE 1997, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, vol. 2, 8 June 1997 (1997-06-08), pages 639-642, XP010228412 ISBN: 0-7803-3814-6

5 NESIC D *ET AL*: "1-D microstrip PGB band-pass filter without etching in the ground plane and with sinusoidal variation of the characteristic impedance" TELECOMMUNICATIONS IN MODERN SATELLITE, CABLE AND BROADCASTING SERVICE, 2001. 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON 19-21 SEPTEMBER 2001, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, vol. 1, 19 September 2001 (2001-09-19), pages 181-183, XP010560918 ISBN: 0-7803-7228-X

No obstante, aunque estas técnicas se utilizan ampliamente para obtener una estructura con comportamiento EBG, siguen presentando inconvenientes y/o problemas.

15 Por ejemplo, las técnicas de perforación (con o sin metalización) han demostrado no ser aptas para las microestructuras requeridas por la demanda de una reducción creciente de la escala de los circuitos y/o dispositivos; de hecho, se ha comprobado que resulta muy difícil, si no imposible, realizar microagujeros con dimensiones adecuadas para los circuitos actuales, por ejemplo circuitos integrados o similares.

20 Del mismo modo, se ha visto que las estructuras con capas diferentes no son competitivas debido a los costes.

Finalmente, el comportamiento de un material EBG y/o la estructura que puede realizarse con las técnicas conocidas con frecuencia han evidenciado ser muy inestables y/o sensibles a la influencia de factores ambientales.

25 Por lo tanto, un objetivo de la presente invención consiste en superar o reducir los inconvenientes de las técnicas conocidas anteriormente mencionadas.

30 En particular, el objetivo de la presente invención consiste en obtener estructuras o materiales adecuados para la propagación de ondas electromagnéticas con un comportamiento EBG estable y que no resulten influenciados por factores ambientales; además, dichos materiales y/o estructuras pueden realizarse con costes competitivos y presentar dimensiones adecuadas a la demanda siempre creciente de miniaturización de dispositivos y/o circuitos en general.

35 Por otra parte, al no presentar agujeros, la estructura propuesta es más fácil de realizar con costes bajos. Por la misma razón, también presenta una resistencia mecánica mayor.

40 Según un ejemplo, el sustrato puede ser multicapa, lo cual significa que la capa conductora se encuentra ubicada en una estructura multicapa realizada con materiales dieléctricos de constantes dieléctricas relativas diferentes. La capa conductora puede disponerse más cerca de la interfase con el aire, pero no necesariamente en la interfase aire-dieléctrico; esta solución permite tener un valor M (factor de modulación) que permite el control sobre la posición y la anchura de las bandas prohibidas.

### Sumario de la invención

45 La presente invención se basa en la consideración de que puede obtenerse un dispositivo y/o una estructura aptos para la propagación de ondas electromagnéticas que presenten un comportamiento EBG mediante la modulación de por lo menos una de las propiedades electromagnéticas de dicha estructura y/o dispositivo. Además, la presente invención se basa en la consideración de que el comportamiento EBG puede obtenerse mediante la modulación de la constante dieléctrica efectiva de la estructura o dispositivo. Particularmente, la presente invención se basa en la consideración de que puede obtenerse una modulación apropiada de la constante dieléctrica de la estructura o dispositivo, una modulación que provea un comportamiento EBG, realizando una capa conductora cuya forma y/o dimensiones no sean constantes sino que varíen a lo largo de una dirección predefinida, con el fin de modular la constante dieléctrica efectiva de la estructura y/o del dispositivo a lo largo de dicha dirección y dicho perfil predefinido.

55 La presente invención se refiere a un dispositivo apto para la propagación de ondas electromagnéticas que comprende una placa de masa conductora, un sustrato y por lo menos otra capa conductora, en el cual dicha capa conductora del interior de dicho dispositivo modula periódicamente por lo menos una propiedad electromagnética de dicho dispositivo.

60 La constante dieléctrica efectiva se modula mediante la forma de dicha por lo menos una capa conductora.

65 La anchura de dicha por lo menos una capa conductora varía de forma sustancialmente periódica a lo largo de una dirección predefinida, de modo que dicha constante dieléctrica es modulada periódicamente a lo largo de dicha dirección predefinida.

Según la invención, dicha por lo menos una capa conductora no es continua a lo largo de dicha dirección predefinida, y dicha por lo menos una capa conductora se interrumpe mediante bandas no conductoras transversales a dicha dirección predefinida.

- 5 Según una forma de realización, la anchura de dicha por lo menos una capa conductora varía sustancialmente a lo largo de dicha dirección predeterminada, de modo que dicha constante dieléctrica efectiva es modulada conforme a un perfil sustancialmente sinusoidal a lo largo de dicha dirección predefinida.

**Breve descripción de las figuras**

10 En las reivindicaciones se describen otras ventajas, objetivos y características de la presente invención, que se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la siguiente descripción detallada considerada conjuntamente con las figuras adjuntas, en las cuales partes idénticas o correspondientes se identifican mediante las mismas referencias numéricas. En particular,

- 15 - la figura 1 representa esquemáticamente una estructura microbanda según el estado de la técnica, en la cual la capa conductora presenta una anchura constante. La estructura monocapa presenta una placa de masa en el lado opuesto de la banda;
- 20 - la figura 2 representa esquemáticamente una estructura microbanda en la cual la capa conductora es continua y la anchura no es constante;
- la figura 3 representa esquemáticamente una estructura microbanda según una forma de realización de la presente invención, en la cual la capa conductora no es continua y la anchura no es constante;
- 25 - la figura 4 representa esquemáticamente el diagrama de dispersión de la estructura microbanda, en el cual es posible reconocer la estructura de bandas;
- la figura 5 representa esquemáticamente el diagrama de dispersión de una estructura microbanda normal según el estado de la técnica, con una capa conductora de anchura constante;
- 30 - la figura 6 representa esquemáticamente una pluralidad de capas conductoras paralelas dispuestas sobre un sustrato dieléctrico. Las capas pueden estar en fase o fuera de fase.
- 35 - la figura 7 representa esquemáticamente una pluralidad de capas conductoras dispuestas de forma longitudinal y transversal sobre un sustrato, formando una cuadrícula conductora;
- la figura 8 representa esquemáticamente la línea modulada que no se encuentra en la interfase aire-dieléctrico, sino que está ubicada entre dos sustratos dieléctricos.

**Descripción detallada de la invención**

La presente invención se describe con referencia a los ejemplos de diferentes aspectos de la presente invención, cuyo ámbito se define en las reivindicaciones.

45 Como se ha indicado anteriormente, una manera posible de conferir un comportamiento EBG a una estructura apta para la propagación y/o transmisión de ondas electromagnéticas consiste en modular la constante dieléctrica efectiva, por ejemplo siguiendo un perfil periódico, particularmente un perfil sinusoidal.

50 De hecho si se considera una estructura microbanda como la representada en la figura 1, que comprende un conductor eléctrico 1 plano y delgado separado de una placa de masa (no representada en la figura 1) por un material dieléctrico 2, puede realizarse la siguiente reflexión.

55 Las estructuras microbanda de este tipo se utilizan ampliamente como líneas de transmisión para microondas. Las ondas electromagnéticas que se propagan en una estructura microbanda de esta clase se difunden en parte en el material dieléctrico y en parte en el aire. Por lo tanto, la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas corresponde a un valor comprendido entre la velocidad de propagación de la onda en el sustrato dieléctrico y la velocidad de propagación de la onda en el aire. Por consiguiente, la estructura microbanda se caracteriza por una constante dieléctrica efectiva  $\epsilon_{eff}$  que viene dada por la fórmula (para más detalles Hammerstad, E. and Jensen, O., "Accurate Models for Microstrip Computer-Aided Design", Digest of 1980 IEEE MTT-S International Symposium, Washington D.C.):

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 10 \frac{h}{w} \right)^{-0.5} \quad (1)$$

en la cual  $\epsilon_r$  es la constante dieléctrica del material dieléctrico,  $h$  es el grosor del material dieléctrico y  $w$  es la anchura de la capa conductora. Esta fórmula es válida para el modo fundamental de la estructura microbanda. En la bibliografía se encuentran correcciones de esta expresión.

Invirtiendo la expresión anterior, es posible encontrar el valor de la anchura de la capa conductora como función de la constante dieléctrica  $\epsilon_r$ , de la constante dieléctrica efectiva  $\epsilon_{eff}$  y del grosor  $h$ , como se representa en la fórmula:

$$w = 2.5h \frac{(2\epsilon_{eff} - \epsilon_r - 1)^2}{(\epsilon_r - \epsilon_{eff})(\epsilon_{eff} - 1)} \quad (2)$$

Por lo tanto, los inventores se enfrentaron con el problema de determinar el comportamiento de una estructura microbanda del tipo representado en la figura 2, en el cual la capa conductora 2 no presenta una anchura constante a lo largo de la dirección de propagación de las ondas electromagnéticas, y llegaron a la conclusión de que, como se ha visto anteriormente, la constante dieléctrica efectiva de una estructura microbanda depende de la anchura de la capa conductora. Variando esta anchura es posible modular el valor de la constante dieléctrica efectiva a lo largo de la dirección de propagación. En consecuencia, los inventores llegaron a la conclusión inesperada de que de este modo es posible obtener una estructura microbanda con nuevas propiedades electromagnéticas, que pueden aportar ventajas considerables en múltiples aplicaciones. En particular, la modulación de la constante dieléctrica efectiva puede permitir a la estructura bloquear determinadas longitudes de onda y dejar que otras se propaguen a través, de ella, por lo tanto actuando como un filtro.

También se consideró un caso particular en el que una constante dieléctrica efectiva varía de forma sinusoidal a lo largo de la dirección de propagación, como se expresa en la fórmula:

$$\epsilon_{eff}(u) = \epsilon_{avg} \left( 1 - M \cos \frac{2\pi u}{D} \right) \quad (3)$$

en la cual,  $u$  es la posición a lo largo de la dirección de propagación de la onda electromagnética,  $D$  es el período y  $M$  es la constante de modulación que satisface la condición  $|M| < 1$ , que representa el esquema de modulación más simple y que, como se verá más adelante, confiere a la estructura un comportamiento EBG.

Sustituyendo el valor deseado de la constante dieléctrica efectiva, como se expresa en la ecuación (3), en la ecuación (2) de la anchura de la capa conductora, es posible determinar la anchura a lo largo de la dirección de propagación de las ondas electromagnéticas.

En un ejemplo,  $M$  es un valor real que corresponde al caso sin absorción de la onda electromagnética por la estructura. Cuando  $M$  asume valores complejos, la constante dieléctrica efectiva se vuelve compleja, lo cual corresponde, por ejemplo, a la disipación de calor en el material dieléctrico por el efecto Joule. En otro ejemplo, la constante dieléctrica efectiva sólo varía en la dirección de propagación de las ondas electromagnéticas.

Para estudiar el comportamiento de esta estructura con una constante dieléctrica efectiva conforme a la ecuación (3), es necesario insertar la ecuación (3) en la ecuación de Maxwell. De esta manera, con un sistema de ecuaciones con derivadas parciales se obtienen las condiciones límite necesarias. A partir de este sistema es posible obtener dos expresiones distintas, una para el campo eléctrico transversal y una para el campo magnético transversal respecto a la dirección de modulación (detalles en: Tamir, T *et al.*, "Wave propagation in Sinusoidally Stratified Dielectric Media", IEEE Trans. on MTT pp. 323-335, May 1964).

Debido a la diversa naturaleza de las ecuaciones que se obtienen, el campo eléctrico transversal (TE) y el campo magnético transversal (TM) pueden tratarse separadamente. El campo magnético transversal puede obtenerse analíticamente por medio de las funciones de Hill, mientras que el campo eléctrico transversal puede obtenerse en términos de funciones de Mathieu, que son un caso particular de las funciones de Hill.

A partir de la solución de la ecuación de Maxwell para la estructura microbanda de la presente invención con una capa conductora con una anchura variable que sigue un perfil casi sinusoidal, como en la ecuación (3), es posible obtener la estructura de bandas representada en la figura 4.

Los límites de las bandas, que permiten la propagación de ondas electromagnéticas o el bloqueo de ondas electromagnéticas pueden obtenerse mediante la intersección entre la línea que corresponde a los parámetros de modulación y los límites de las zonas de estabilidad de estas funciones. El comportamiento en el interior de la banda se describe mediante las funciones relativas de orden no entero.

5 En un ejemplo particular se considera una estructura microbanda con una única capa conductora en la cual la constante dieléctrica efectiva varía.

10 La figura 2 representa esquemáticamente un período de un ejemplo concreto en el cual la estructura 20 comprende un sustrato dieléctrico 21 sobre la superficie del cual se ha dispuesto una capa conductora 22. La capa conductora 22 se extiende longitudinalmente a lo largo de toda la longitud del sustrato 21, como muestra la figura 2. Las ondas electromagnéticas se propagan en el interior de la estructura representada en la figura 2 a lo largo de la dirección en la cual la capa conductora se extiende longitudinalmente. En lo sucesivo, esta dirección de propagación se definirá como dirección predeterminada o predefinida. La forma de la capa conductora, y particularmente su anchura (medida en la dirección perpendicular a la dirección de propagación) varía periódicamente según una función que resulta de la ecuación (3).

15 La figura 3 representa esquemáticamente una forma de realización particular de la presente invención, en la cual la estructura 30 comprende un sustrato dieléctrico 31 sobre la superficie del cual se ha dispuesto una capa conductora no continua 32. La capa conductora 32 se extiende longitudinalmente a lo largo de toda la longitud del sustrato 31 y está interrumpida por zonas/bandas no conductoras 33, como representa la figura 3. Por consiguiente, la capa conductora 32 está formada por bandas conductoras y no conductoras. La longitud en la dirección longitudinal predefinida tanto de las bandas conductoras como de las bandas no conductoras es constante a lo largo de todo el sustrato. Por el contrario, la anchura (medida en la dirección transversal) de las bandas conductoras es variable y describe un perfil periódico, como representa la figura 3.

La dirección longitudinal de las bandas no conductoras se identifica mediante la referencia numérica 33 y en otra forma de realización particular de la presente invención, dicha longitud tiene un valor de 0,2 mm.

20 La figura 6 representa esquemáticamente otro ejemplo concreto en el cual la estructura bidimensional 60 comprende un sustrato dieléctrico 61 sobre la superficie del cual se han dispuesto diversas capas conductoras 62. Las capas conductoras 62 son paralelas y no existe contacto entre las diferentes capas conductoras, como representa la figura 6. La capa conductoras 62 se extiende longitudinalmente a lo largo de toda la longitud del sustrato 61 como representa la figura 6. Las diferentes capas conductoras presentan un perfil periódico sustancialmente sinusoidal y están en fase una con otra, como puede apreciarse en la parte superior de la figura 6. Con la expresión "en fase" debe entenderse concretamente, que las funciones de la anchura de las dos capas conductoras adyacentes que son periódicas a lo largo de la dirección longitudinal predefinida están en fase entre ellas (a un valor determinado  $u$  le corresponde el mismo valor de  $w$ ).

30 Por el contrario, según otro ejemplo, las capas conductoras pueden estar fuera de fase, como puede apreciarse en la parte inferior de la figura 6. En este caso, las funciones que expresan la periodicidad a lo largo de la dirección longitudinal predefinida de la anchura de las 2 capas conductoras adyacentes están fuera de fase (a un valor determinado  $u$  le corresponden valores diferentes de  $w$ ).

35 La figura 7 representa esquemáticamente un ejemplo concreto en el cual la estructura bidimensional 70 comprende un sustrato dieléctrico 71 sobre la superficie del cual se han dispuesto capas conductoras longitudinales 72 y capas conductoras transversales 73. Las capas conductoras longitudinales son paralelas y no existe contacto entre ellas, como representa la figura 7. Lo mismo puede aplicarse a las capas conductoras transversales. Las capas conductoras longitudinales entran en contacto con sus capas transversales respectivas en los puntos de contacto 75. Tanto las capas conductoras longitudinales 72 como las transversales 73 se extienden respectivamente longitudinalmente y transversalmente en toda la longitud/anchura del sustrato dieléctrico 71. Por lo tanto, las capas conductoras forman una estructura radical sobre la superficie dieléctrica 71. En este ejemplo concreto, las ondas electromagnéticas pueden propagarse en las dos direcciones longitudinal y transversal.

40 En un ejemplo particular, el material dieléctrico 2 está realizado en Arion 350 con un grosor de 1,58 mm y la capa conductora 11 es de cobre con un grosor de 35  $\mu\text{m}$ , tal como la capa de masa posterior.

45 En un ejemplo concreto, la modulación de la constante dieléctrica efectiva se realiza de manera discontinua en una dimensión (1D) gracias a una capa conductora continua, como representa la figura 2, la anchura de la cual varía periódicamente y/o de forma sustancialmente sinusoidal.

50 En una forma de realización particular de la presente invención, la capa conductora no es continua y está interrumpida por zonas no conductoras, es decir, está formada por bandas conductoras alternadas con zonas no conductoras. La anchura de las bandas conductoras no es constante.

55

En una forma de realización particular de la presente invención, la anchura de las bandas varía de forma periódica y/o sinusoidal según el perfil de la ecuación (3), como representa la figura 3. La distancia entre las diferentes bandas conductoras es inferior a la longitud de onda de las ondas electromagnéticas que se propagan en la estructura microbanda. Esta característica particular evita el paso de corriente continua a lo largo de la capa conductora y, por lo tanto, resulta útil cuando se insertan elementos activos (por ejemplo para el control de la diferencia de fases) en el interior del sistema.

En un ejemplo particular, el valor de  $\epsilon_{avg}$  es de 2,67 y el de

$$M = \Delta\epsilon = 0.11.$$

En otro ejemplo particular, la frecuencia de las ondas electromagnéticas utilizada se encuentra dentro del intervalo de 0 a 25 GHz.

En un ejemplo concreto, la anchura de la capa conductora varía entre un mínimo de 0,70 mm y un máximo de 3,50 mm en un período de 10 mm.

En un ejemplo particular, la capa conductora no es continua y está interrumpida por cortes que presentan una anchura de 0,2 mm.

En otro ejemplo, se han dispuesto diversas capas conductoras sobre el sustrato dieléctrico en la forma representada en la figura 6. Las capas conductoras diferentes se han dispuesto en el mismo plano y son paralelas entre sí.

En un ejemplo concreto, las formas particulares de las capas conductoras pueden estar en fase, como muestra la parte superior de la figura 6, o pueden estar dispuestas fuera de fase, como muestra la parte inferior de la misma figura. En otro ejemplo, las capas conductoras dispuestas sobre el sustrato dieléctrico pueden entrar en contacto formando una cuadrícula conductora bidimensional como la que representa la figura 7. Estas cuadrículas conductoras bidimensionales pueden utilizarse como sustrato para reducir la diafonía entre líneas de transmisión de datos. En realidad esta es la aplicación más ampliamente utilizada. Además, reducir el acoplamiento significa que las líneas pueden disponerse más cerca unas de otras y, por lo tanto, pueden reducirse las dimensiones de todo el circuito con una ventaja importante en términos de costes, volumen, etc.

En otro ejemplo, la modulación de la constante dieléctrica efectiva puede obtenerse variando el grosor de la capa conductora en lugar de la anchura, como se ha mencionado en las formas de realización anteriores. Por consiguiente, el grosor de la capa conductora no es constante.

En un ejemplo concreto, la modulación de la constante dieléctrica también puede deberse a la variación de la composición de la capa conductora o a la utilización de materiales conductores diferentes.

La figura 8 representa otro ejemplo en el cual la capa conductora se encuentra dentro del material dieléctrico. Alternativamente, la capa conductora puede disponerse entre dos capas de materiales dieléctricos diferentes, como en un sandwich. Además, las diversas capas conductoras representadas en las figuras 6 y 7 pueden disponerse en el interior de un sustrato dieléctrico o entre dos o más capas de materiales dieléctricos diferentes.

Un ejemplo particular comprende un dispositivo que se utiliza como soporte para la propagación de ondas electromagnéticas que comprende una capa de material dieléctrico con dos capas conductoras, una en cada lado, una de las cuales es continua y uniforme (capa de masa) y la otra está formada por bandas paralelas con una anchura que varía periódicamente para que la constante dieléctrica efectiva relativa del dispositivo sea modulada periódicamente por la forma de dicha capa conductora.

#### **Análisis numérico de las propiedades del sistema**

La estructura microbanda con una capa conductora de forma continua sinusoidal como la representada en la figura 2 y la estructura con una forma no continua como la representada en la figura 3 se analizaron con detalle para mostrar mejor las características. En particular, estos dos casos se examinaron mediante un análisis de vectores propio y mediante un análisis numérico con un solucionador transitorio en el dominio tiempo. A continuación se representaron los resultados de un diagrama de dispersión y también se compararon con el diagrama de dispersión de la estructura con una capa conductora de anchura constante como la representada en la figura 1, para subrayar las diferencias de comportamiento.

Para el cálculo numérico por medio del análisis con resolvidor transitorio se consideró una estructura formada por 21 celdas unitarias cada una de las cuales correspondía a un período de modulación para el caso continuo, así como para el caso discreto.

Para el cálculo numérico se utilizó un perfil sinusoidal con una anchura que variaba entre un mínimo de 0,70 mm y un máximo de 3,50 mm durante un período de 10 mm. En el caso descrito las interrupciones tenían una anchura de 0,20 mm.

5 La estructura de bandas puede reconocerse fácilmente en la figura 4, que muestra bandas de frecuencia en las cuales la radiación electromagnética se propaga y bandas en las cuales se bloquea.

10 El gráfico es el resultado del cálculo numérico para una estructura con una capa conductora de forma sinusoidal continua y no continua. Los cálculos numéricos muestran que el comportamiento de estas dos variantes es muy similar con la exclusión del modo fundamental de estructura continua que es el modo transversal electromagnético (TEM).

15 El comportamiento de estas dos variantes presenta claras diferencias si se compara con el caso de una estructura microbanda con una capa conductora de anchura constante. El gráfico de dispersión respectivo se representa en la figura 5. Como puede apreciarse en la figura 5, no hay bandas de frecuencia prohibida.

20 En el caso particular representado en la figura 4, en el cual la frecuencia de las ondas electromagnéticas varía entre 0 y 25 GHz, los límites de la banda que permiten la propagación y de las bandas que bloquean la propagación son: 0-7, 24-12, 905-16, 23-19, 89-24, 76 GHz.

Por lo tanto, se ha demostrado que la presente invención permite obtener los resultados deseados. La estructura EBG según la presente invención puede realizarse con un coste reducido, por ejemplo realizando sobre un sustrato dieléctrico una o más capas o pistas conductoras utilizando un procedimiento de litografía (grabado o similar).

25 Además, como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo de la presente invención puede funcionar como filtro para eliminar las bandas de frecuencia gracias al comportamiento EBG del material. Además, el dispositivo de la presente invención está adaptado para aplicarlo en circuitos integrados. Por otra parte, la superficie del dispositivo representa una superficie de impedancia elevada y por consiguiente es un conductor magnético artificial.

30 Las propiedades EBG del dispositivo pueden utilizarse para reducir el acoplamiento entre radiadores en las aplicaciones en que están presentes diversas antenas. Además, el dispositivo puede aplicarse en antenas de fuga o para la reducción de la difracción de los tableros de un avión de masa limitada o más generalmente en todas las aplicaciones en las cuales es necesario eliminar las ondas de superficie.

35 El dispositivo de la presente invención también puede utilizarse para suprimir modos en el caso de que esté ubicado entre dos placas metálicas paralelas (supresión de modos de placas paralelas).

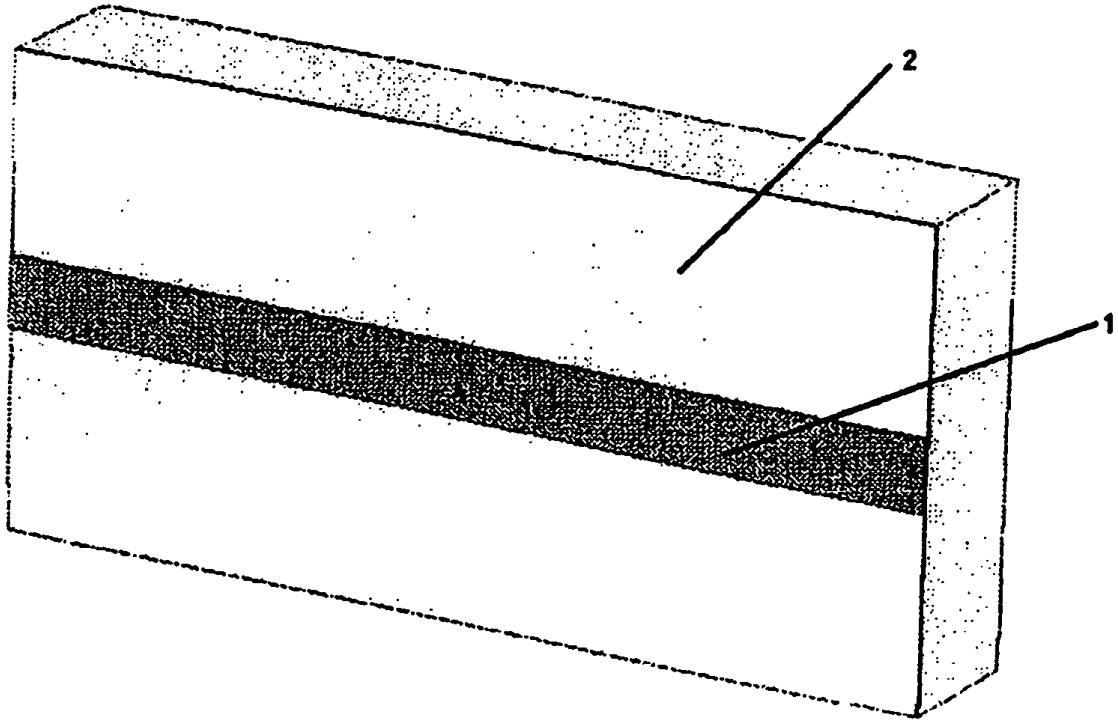
40 Considerando el comportamiento de filtro, el dispositivo de la presente invención puede utilizarse para dispositivos de aislamiento acústico, por ejemplo puede utilizarse como sustrato para buses con el fin de reducir la relación entre la señal y el ruido y eliminar el fenómeno de diafonía, con la ventaja de que al reducir el acoplamiento de las líneas de un bus es posible disponer las líneas más cerca unas de otras, para reducir el espacio ocupado, lo cual es muy importante para aplicaciones en paquetes.

45 Por otra parte, la periodicidad de la anchura de dichas una o más capas conductoras puede realizarse basándose en la periodicidad requerida para la constante dieléctrica efectiva y/o para obtener un comportamiento EBG específico deseado. Este comportamiento EBG será estable y no resultará influido por factores externos.

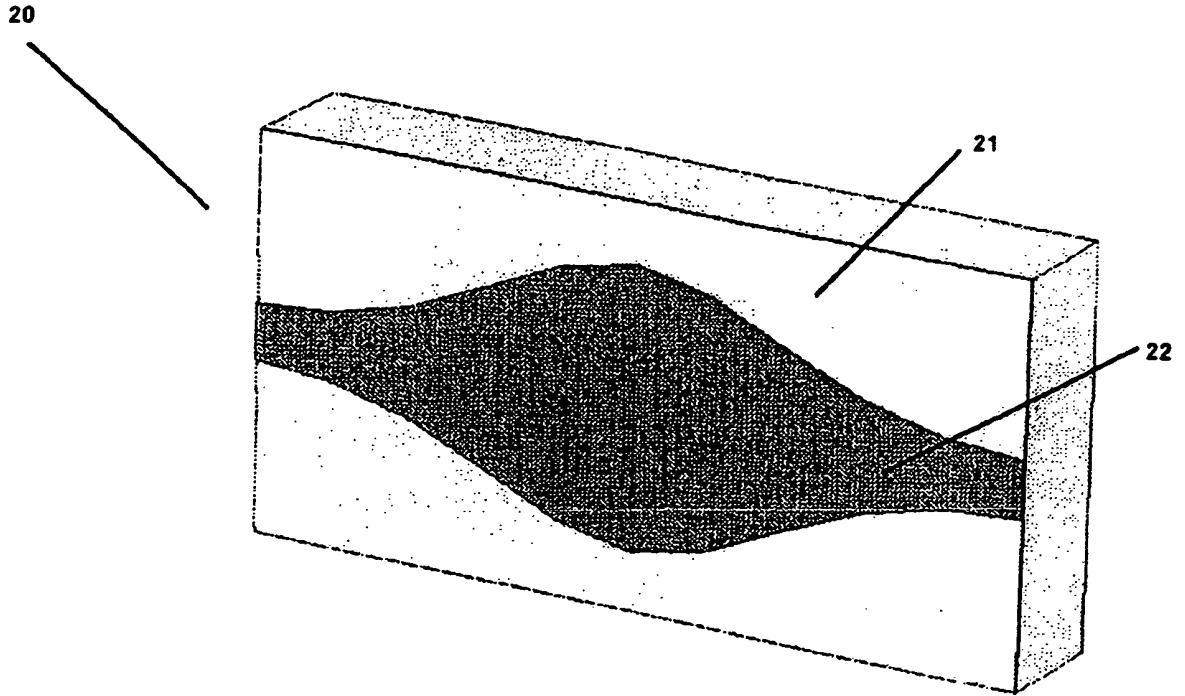


**REIVINDICACIONES**

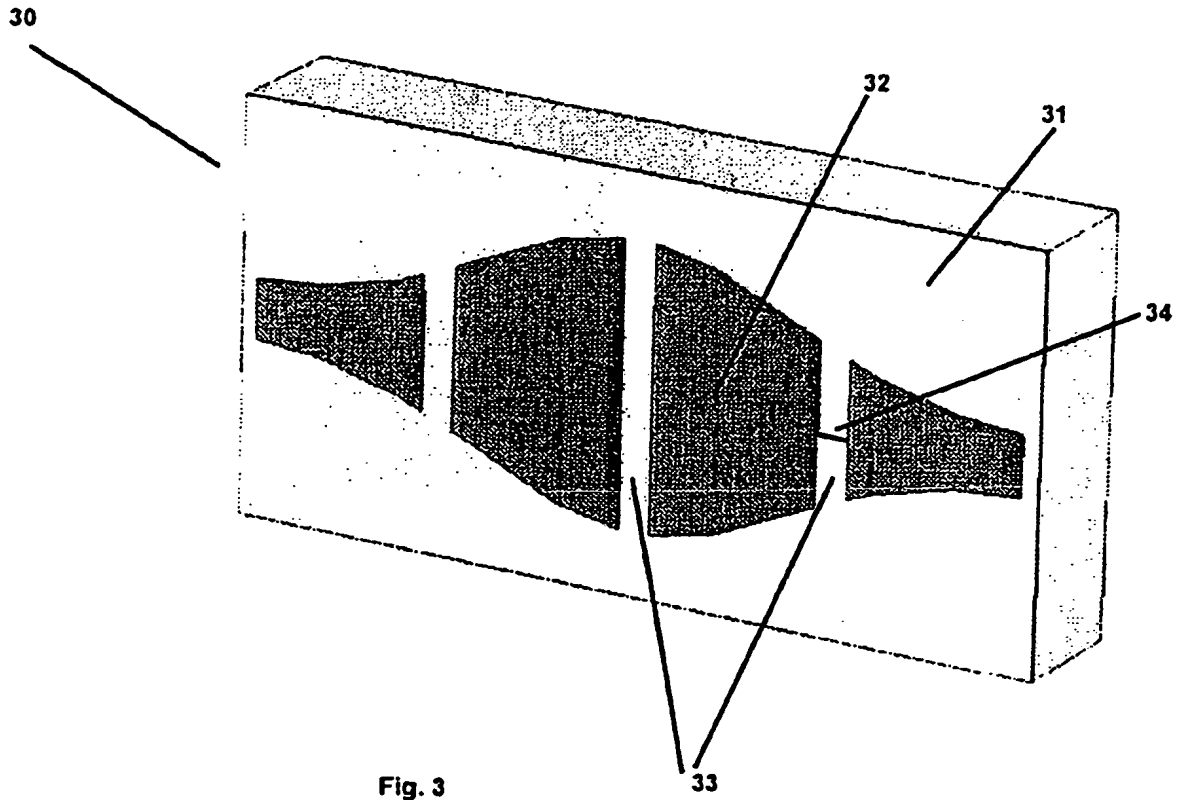
- 5 1. Dispositivo (20) apto para la propagación de ondas electromagnéticas, que comprende:  
un sustrato (21), por lo menos una capa conductora (22), siendo modulada la constante dieléctrica efectiva de dicho dispositivo mediante la anchura de dicha por lo menos una capa conductora, variando la anchura de dicha por lo menos una capa conductora sustancialmente de forma periódica a lo largo de una dirección predeterminada, de tal modo que dicha constante dieléctrica es modulada de forma sustancialmente periódica a lo largo de dicha dirección predeterminada,  
10 caracterizado porque dicha por lo menos una capa conductora (22) no es continua a lo largo de dicha dirección predeterminada, estando interrumpida dicha por lo menos una capa conductora por unas bandas no conductoras (33) transversales a dicha dirección predeterminada.
- 15 2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque la anchura de dicha por lo menos una capa conductora varía sustancialmente de forma sinusoidal a lo largo de dicha dirección predeterminada, de tal modo que dicha constante dieléctrica efectiva se modula siguiendo un perfil sustancialmente sinusoidal a lo largo de dicha dirección predeterminada.
- 20 3. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado porque la longitud de dichas bandas no conductoras (33) en dicha dirección predeterminada es constante a lo largo de todo dicho sustrato (21).
- 25 4. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque dicho dispositivo es una estructura microbanda.
- 30 5. Dispositivo para la propagación de ondas electromagnéticas según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la longitud de dichas bandas no conductoras (33) en la dirección longitudinal presenta un valor de 0,2 mm.
- 35 6. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el sustrato está realizado en material dieléctrico.
7. Circuito apto para la propagación de ondas electromagnéticas, caracterizado porque dicho circuito comprende un dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 6.
8. Circuito según la reivindicación 7, caracterizado porque dicho circuito es un circuito integrado.



**Fig. 1**



**Fig. 2**



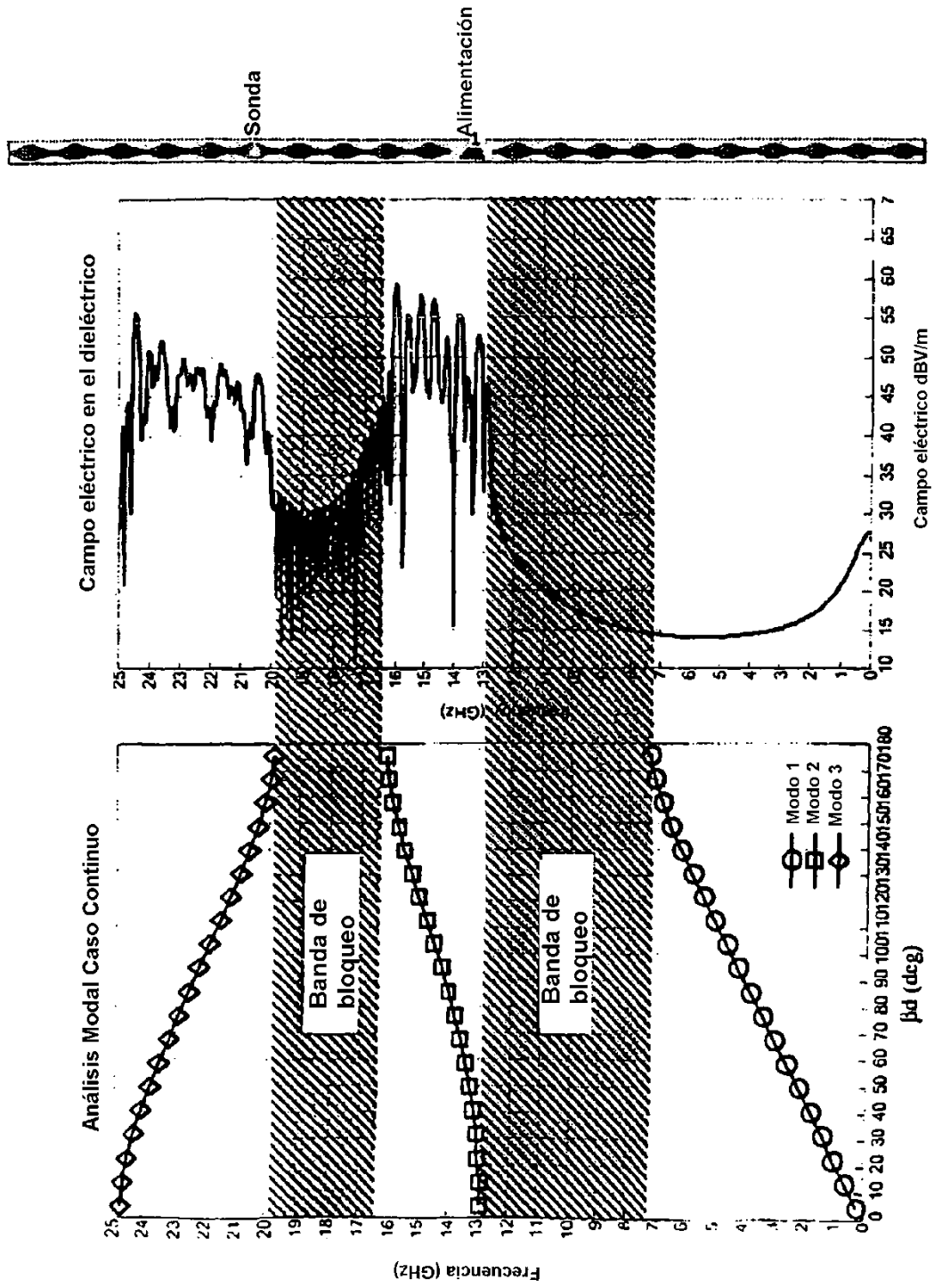


Fig. 4

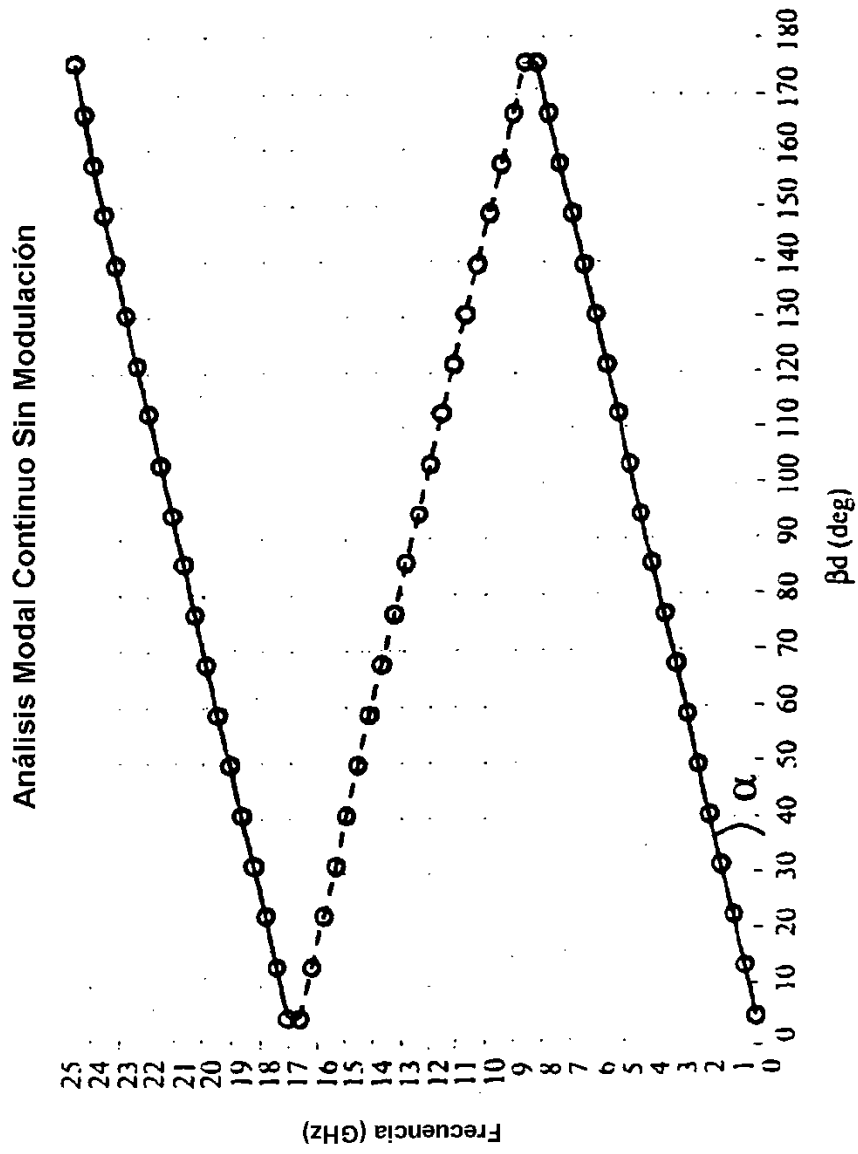


Fig. 5

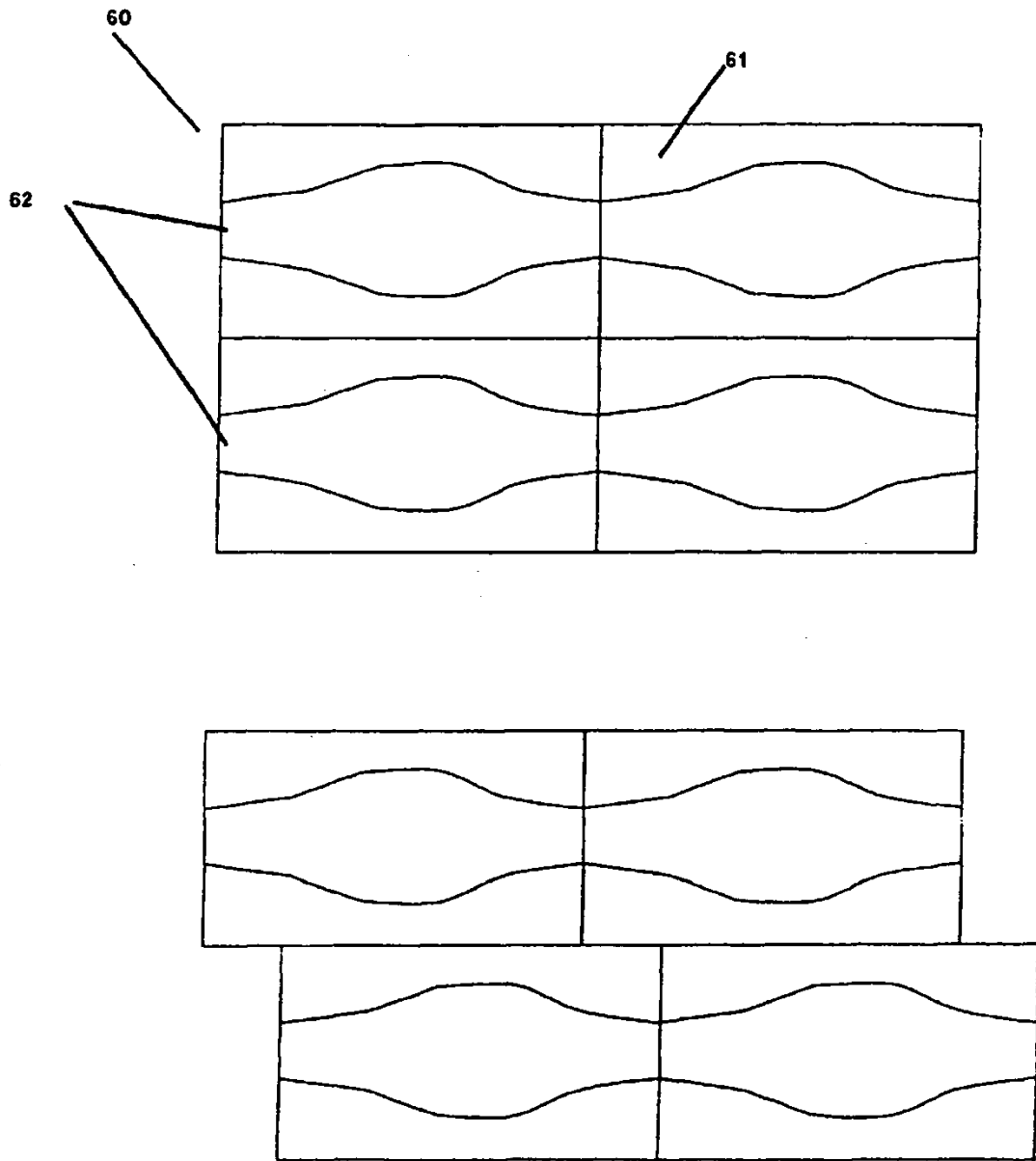


Fig. 6

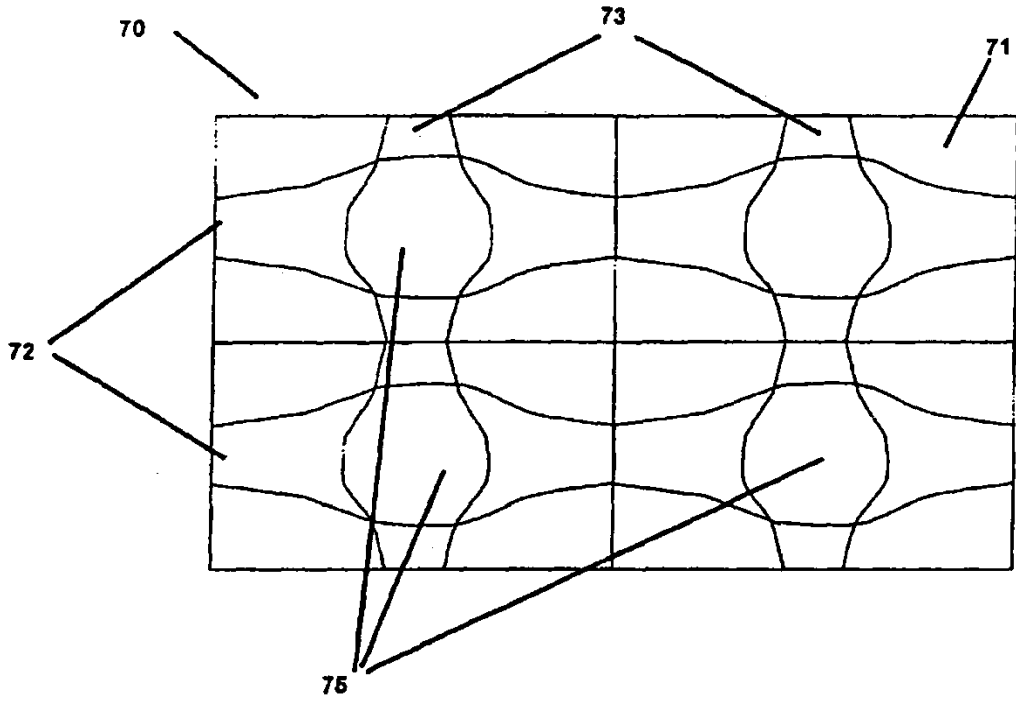


Fig. 7



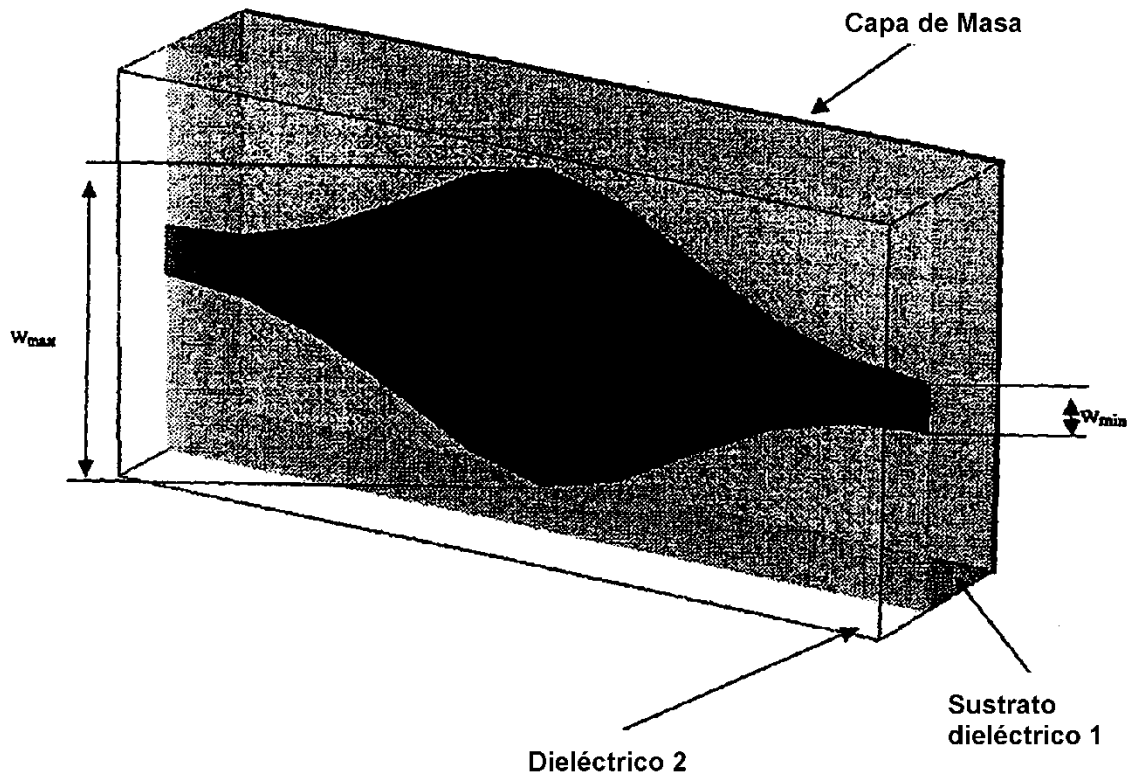


Fig. 8