

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 815 698**

51 Int. Cl.:

**H01Q 9/04** (2006.01)

**H01Q 13/16** (2006.01)

**H01Q 21/28** (2006.01)

**H01Q 21/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2016 E 16201682 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020 EP 3179557**

54 Título: **Celda radiante elemental multibanda**

30 Prioridad:

**09.12.2015 FR 1502559**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**30.03.2021**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
Tour Carpe Diem, Esplanade Nord, Place des  
Corolles  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**MAAS, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

**ES 2 815 698 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

## Celda radiante elemental multibanda

La presente invención se sitúa en el campo de los dispositivos radiantes concebidos para funcionar en dos bandas de frecuencias distintas. Se aplica, en especial a celdas radiantes bibanda realizadas en tecnología impresa, y utilizadas por radares de escaneos electrónicos para la vigilancia del espacio aéreo, estos radares operan en la banda S, y en la banda dedicada a las aplicaciones IFF (acrónimo inglés para “*Identification, Friend or Foe*”, o la identificación amiga o enemiga).

Los radares de escaneo electrónico del estado de la técnica están constituidos de antenas direccionales realizadas a partir de elementos radiantes, o celdas radiantes, montadas en el seno de una red. La modificación de la amplitud y la fase de cada uno de los elementos radiantes de la red permite orientar la dirección del haz de radar.

Las frecuencias de interés para las aplicaciones de vigilancia aérea están en la banda S, utilizada para el radar primario, y en particular en la subbanda de 2,9 GHz a 3,3 GHz, así como bandas de frecuencias de algunos MHz o decenas de MHz situadas próximas a las frecuencias de 1,03 GHz y 1,09 GHz, y utilizadas para las aplicaciones IFF. Los equipos de radar actuales, ya se trate de radares de tierra o de radares embarcados en un portador como por ejemplo un vehículo, un navío o un avión, comprenden generalmente dos sistemas independientes: una antena direccional rotativa dedicada a las aplicaciones IFF y una red de celdas radiantes para el radar de Banda S. La antena rotativa está situada por encima o al lado de la antena de radar de Banda S. Los dos volúmenes se añaden por tanto, lo que puede plantear problemas durante el transporte o la instalación de las antenas.

La invención busca resolver la problemática general de la multiplicación de sistemas proponiendo una celda radiante que funciona simultáneamente y sin interferencias, en dos bandas de frecuencias distintas, en particular la Banda S y la banda de frecuencias dedicada a las aplicaciones IFF. Dicha celda permite realizar una red radiante bibanda, reduciendo por tanto el volumen ocupado del sistema de radar en su conjunto, así como la complejidad de instalación y las restricciones de utilización asociadas. La invención propone una celda radiante para la cual los accesos a las diferentes bandas de frecuencias son independientes, lo que permite integrar la invención en los dispositivos de radares existentes de manera transparente.

La utilización de elementos radiantes bibanda o de banda ancha en el interior de redes radiantes es un problema con el que nos encontramos frecuentemente.

Es por tanto más complejo que, cuando elementos radiantes están próximos, aparezcan fuertes fenómenos de acoplamiento. Estos fenómenos de acoplamiento son más marcados cuando la relación de las frecuencias entre la banda alta y la banda baja se aproxima a un número entero impar. De hecho, los elementos radiantes están dimensionados con respecto a la longitud de onda a la cual funcionan. Un elemento dimensionado para irradiar en la banda de frecuencia baja tendrá generalmente un tamaño próximo a  $\lambda_B/2$ , con  $\lambda_B$  siendo la longitud de onda máxima de la banda de frecuencia baja. Por la relación de bandas de frecuencias, su tamaño será igualmente de  $N \cdot \lambda_H/2$ , con N siendo la relación de las bandas de frecuencia y  $\lambda_H$  la longitud de onda máxima de la banda de frecuencia alta en el dieléctrico. Por esta razón, cuando N se aproxima a un número entero impar, el dispositivo irradia igualmente para la banda de frecuencia alta, amplificando por tanto los fenómenos de acoplamiento.

La utilización, en el seno de una misma celda radiante de elementos apropiados para cada una de las bandas de funcionamiento, separadas una distancia que permite minimizar los problemas de acoplamiento entre elementos, no es una solución al problema cuando la celda radiante se implementa en una red radiante. De hecho, el tamaño de la celda es una restricción para el paso de la malla de la red, que vale generalmente  $\lambda/2$ , con  $\lambda$  siendo la longitud de onda en el aire correspondiente a la frecuencia máxima. Por tanto, cuando la relación de frecuencias entre la banda de frecuencias altas y la banda de frecuencias bajas aumenta, los elementos radiantes requeridos por la banda de frecuencias bajas se hacen incompatibles con el tamaño de este paso de puesta en red. A título de ejemplo, el paso de la puesta en red de una malla radiante en bandas a 3,3 GHz es de aproximadamente 5 cm. Un parche adaptado a la banda S, cuando se realiza en el ámbito de un sustrato que tiene una constante dieléctrica relativa que vale 3,55 con dimensiones del orden de 25 mm x 25 mm, compatible con el paso de puesta en red. Un parche para las aplicaciones IFF, debido a la relación de 3 de frecuencia entre las dos bandas, será 3 veces más grande (y de superficie 9 veces superior). Tendrá por tanto un tamaño de 75 mm x 75 mm. Un dispositivo que comprende un parche de banda S y un parche de banda para aplicaciones IFF no será por tanto compatible con el paso de malla radiante.

Por tanto, la solicitud de patente US 2003/0164800 A1 presenta un dispositivo tribanda que funciona en las bandas AMPS (800-805MHz), GPAS (1,4 GHz) y PCS (1,85-1,99 GHz) a partir de una antena de parche y de dos ranuras. No siendo la relación de frecuencias de funcionamiento de múltiplos impares, el dispositivo no presenta medios de supresiones de interferencias ligados al acoplamiento entre los elementos radiantes. Además, la utilización de una ranura sintonizada en la banda de frecuencia baja haciéndola incompatible con su integración en una malla radiante dimensionada con respecto a la frecuencia alta.

La solicitud australiana AU 2015101429 A4 presenta un dispositivo bibanda que funciona en las bandas Wi-Fi a 2,4 GHz y 5 GHz. Sin embargo, en este dispositivo, la relación de frecuencias no es un múltiplo impar, no presenta por tanto problemas particulares de acoplamiento. No presentan tampoco acceso independiente a cada una de las bandas

de frecuencia: los elementos radiantes asociados a cada una de las bandas de frecuencia no pueden por tanto ser controlados de forma independiente.

5 Una primera solución conocida al problema de realización de una celda bibanda de dimensiones reducidas consiste en utilizar un único elemento radiante de banda ancha. Una vez se pone en red, el resultado es por tanto una red única de banda ancha, que cubre el conjunto de bandas de interés. Sin embargo, la realización de dicho elemento radiante resulta compleja cuando la separación de bandas aumenta, y no responde a la necesidad de un acceso independiente a cada una de las bandas de frecuencias.

10 Para responder a la problemática del tamaño de la red, una solución conocida consiste en utilizar, para la banda de frecuencias bajas, elementos de tipo monopolos o dipolos doblados, o ranuras dobladas de manera que se pueda alojarlas en una superficie reducida. La utilización simultánea de un parche para la banda de frecuencias altas, y de una ranura para la banda de frecuencias bajas presenta un interés práctico, ya que la ranura puede ser alojada en la metalización del parche, o en la de su plano de masa. Se han explorado diversas soluciones de este tipo, pero las mismas se topan con el hecho de que, en estas condiciones, las ranuras radiantes presentan una banda pasante muy estrecha, lo que limita su interés.

15 El artículo "*Dual Band Quasi-Magneto-Electric Patch Antenna for X-band Phased Array*", S.E Valavan, *Proceedings of the 44th European Microwave Conference 2014*, ha superado esta limitación utilizando los fenómenos de acoplamiento entre los dos elementos. Propone perturbar un parche radiante en la banda de frecuencias altas con la ayuda de una ranura alojada en el interior de la superficie radiante del parche. La respuesta del dispositivo resultante del acoplamiento entre los dos elementos presenta un funcionamiento en dos bandas de frecuencias distintas cuya frecuencia centrales se alejan según una relación 1,5, pero teniendo bandas bastante significativas (superiores a un 5%).

Sin embargo, dicho dispositivo presenta dos defectos importantes:

- la relación de la banda es de 1,5, lo que no permite responder a las aplicaciones de radar de Banda S e IFF, para las cuales la relación de banda de frecuencias vale 3,
- 25 • no responde a la necesidad de tener dos antenas separadas conectadas cada una a un acceso distinto, ya que propone un sistema acoplado que tenga dos bandas de resonancia. Las amplitudes y fases de los elementos radiantes asociados a la banda de frecuencia no pueden por tanto ser controladas de forma independiente. Además, la integración de dicha celda en equipos existentes requiere la separación entre estas dos bandas, para controlar de forma separada la señal en banda de frecuencias altas y bajas. Esta separación requiere la realización de un equipo suplementario en la interfaz entre la red radiante y los equipos de radio. Ello puede resultar delicado, dependiendo la calidad de las señales resultantes de la propiedad del filtrado implementado.

30 La invención responde al problema planteado asociando un elemento radiante en la banda de frecuencias altas de tipo parche, con al menos un elemento radiante en la banda de frecuencia baja de tipo ranura doblada. Este enfoque permite alojar los dos elementos radiantes en una celda de tamaño reducido, compatible con una red de elementos unitarios que funcionan a la frecuencia alta, es decir inferior a un cuadrado del lado inferior a  $\lambda_H/2$ .

35 Los elementos de la banda de frecuencias altas (parche) y de la banda de frecuencias bajas (ranura) son, cada uno, conectados a un acceso distinto, lo que permite poder controlarlos de forma independiente en amplitud y en fase. Filtros adaptados a cada una de las bandas de frecuencia son implementados sobre cada uno de los accesos, de manera que se suprimen las contribuciones no deseadas ligadas al acoplamiento resultante de la proximidad entre los elementos radiantes.

La invención consiste por tanto en un dispositivo radiante, en dos bandas de frecuencias distintas según la reivindicación 1.

Ventajosamente, el elemento de tipo ranura está alojado en un plano de masa del dispositivo.

45 Ventajosamente, el o dichos elementos de tipo ranura doblada están doblados en forma de U y situados en la periferia del dispositivo.

Según un modo de realización del dispositivo, el número de elementos de tipo ranura es igual al número de sub bandas de la banda de frecuencias baja, siendo alimentados dichos elementos de tipo ranura por un mismo segundo acceso.

Según otro modo de realización del dispositivo, el número de elementos de tipo ranura es igual al número de sub bandas de la banda de frecuencias bajas, siendo alimentados dichos elementos de tipo ranura por accesos diferentes.

50 Según otro modo de realización, el dispositivo comprende un único elemento de tipo ranura alimentado por dicho segundo acceso al cual se conecta por un circuito resonador, siendo ajustado el acoplamiento entre dicha ranura y dicho circuito resonador para irradiar en dos sub bandas distintas de la banda de frecuencias bajas.

Ventajosamente, en este modo de realización, el circuito resonador es un circuito resonador en paralelo que comprende una inductancia y un condensador. El resonador está conectado al elemento de tipo ranura por una guía

de onda de longitud  $\lambda/4$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda asociada a la frecuencia central de la banda de frecuencias bajas.

Ventajosamente, en el conjunto de modos de realización, el filtro situado entre el elemento de tipo parche y el primer acceso comprende una pluralidad de tramos de línea de microcinta de anchuras diferentes.

5 Esta propiedad le permite sólo irradiar para una de las bandas de frecuencias cuando las mismas son múltiplos la una de la otra.

Ventajosamente, el dispositivo comprende además un filtro de paso bajo situado entre el o dichos elementos de tipo ranura y dicho segundo acceso, y configurado para filtrar la banda de frecuencias altas.

10 Ventajosamente, el dispositivo comprende además un segundo elemento de tipo parche adaptado a la banda de frecuencias altas, estando dispuesto dicho segundo elemento de tipo parche por encima de dicho primer elemento de tipo parche.

El dispositivo según la invención puede implementarse en un circuito impreso multicapa para el cual dicho elemento de tipo parche, el o dichos elementos de tipo ranura, y dicho filtro situado entre los elementos de tipo parche y el primer acceso están en las capas diferentes del circuito impreso.

15 Este reparto en capa permite limitar al máximo la superficie de circuito impreso. Ello es posible ya que los elementos radiantes no se ocultan, estando situados el o los elementos de tipo ranura en la periferia del circuito impreso, y por tanto del elemento de tipo parche.

20 Gracias al elemento de filtrado de la banda de frecuencia alta, el dispositivo según la invención se adapta para funcionar cuando al menos una frecuencia de la banda de frecuencias altas es un múltiplo entero impar de una frecuencia de la banda de frecuencias bajas.

El dispositivo según la invención se adapta para funcionar cuando la banda de frecuencias altas comprende la banda de 2,9 GHz-3,3 GHz.

Se adapta del mismo modo para funcionar cuando al menos una subbanda de la banda de frecuencias bajas está centrada alrededor de una frecuencia elegida entre la frecuencia de 1030 MHz y la frecuencia de 1090 MHz.

25 El dispositivo según la invención puede ser realizado fácilmente en tecnología impresa.

Finalmente, la invención se refiere a una red radiante configurada para irradiar en dos bandas de frecuencias distintas, y caracterizada porque comprende celdas radiantes según el dispositivo radiante en dos bandas de frecuencias distintas según la invención.

30 La misma aborda, del mismo modo, un radar de escaneo electrónico configurado para funcionar simultáneamente en dos bandas de frecuencias diferentes, y caracterizado porque comprende una red radiante tal y como la descrita por la invención.

La invención se comprenderá mejor y otras características y ventajas aparecerán mejor de la lectura de la descripción siguiente, dada a título no limitativo, y gracias a las figuras adjuntas entre las cuales:

- 35 • La figura 1 representa una celda radiantes según un primer modo de realización de la invención,
- La figura 2 representa una vista en despiece de una celda radiantes según un primer modo de realización de la invención,
- Las figuras 3a y 3b representan un ejemplo de coeficiente de reflexión de las entradas y de desacoplamiento, respectivamente en la banda de frecuencias bajas y en la banda de frecuencias altas, asociadas a cada entrada de una celda radiantes según el primer modo de realización de la invención.
- 40 • Las figuras 4a y 4b representan un ejemplo de diagramas de radiaciones de la entrada asociada a la banda de frecuencias bajas de una celda radiantes según el primer modo de realización de la invención,
- Las figuras 5a y 5b representan un ejemplo de diagramas de radiaciones de la entrada asociada a la banda de frecuencias altas de una celda radiantes según el primer modo de realización de la invención,
- La figura 6 representa una celda radiantes según un segundo modo de realización de la invención,
- 45 • Las figuras 7a y 7b representan un ejemplo de coeficiente de reflexión de las entradas y de desacoplamiento, respectivamente en la banda de frecuencias bajas y en la banda de frecuencias altas, asociadas a cada entrada y una celda radiantes según el segundo modo de realización de la invención,
- Las figuras 8a y 8b representan un ejemplo de diagramas de radiaciones de la entrada asociada a la banda de frecuencias altas de una celda radiantes según un segundo modo de realización de la invención,
- 50 • Las figuras 9a y 9b representan un ejemplo de diagramas de radiaciones de la entrada asociada a la banda de frecuencias altas de una celda radiantes según el segundo modo de realización de la invención,
- La figura 10 representa una celda radiante según un tercer modo de realización.

Las descripciones de los modos de realización expuestos a continuación están dedicadas a un modo de funcionamiento particular de la invención. Este modo de funcionamiento responde a las necesidades de las aplicaciones de radares para la vigilancia del espacio aéreo. La celda radiante presentada a continuación busca funcionar de manera disociada en la banda de 2,9 GHz-3,3 GHz (subbanda de la banda S dedicada a las aplicaciones de radares) así como en dos subbandas de algunos MHz en la banda de frecuencias dedicada a las aplicaciones IFF, una primera entrada alrededor de la frecuencia de 1030 MHz y una segunda entrada alrededor de la frecuencia de 1090 MHz. Estas dos subbandas correspondientes a las vías de ida y vuelta de las aplicaciones IFF.

Sin embargo, la invención no se limita a este funcionamiento ni a este tipo de aplicaciones, y puede extenderse por analogía a otras bandas de frecuencias, donde en otros modos de realización en los cuales varía el número de subbandas elegidas en el interior de la banda de frecuencias bajas.

En los ejemplos presentados, la relación de las bandas de frecuencias, es decir la relación entre las frecuencias de la banda de frecuencias altas y las frecuencias de la banda de frecuencias bajas, valen aproximadamente tres. Debido a ello, los fenómenos de acoplamiento entre los diversos elementos radiantes, introducidos por su proximidad física, se encuentra reforzada. La misma está ligada a que, cuando la relación de frecuencia entre las bandas es un número entero impar, todas las estructuras resonantes a base de líneas funcionan naturalmente de manera idéntica a la frecuencia  $f_0$  y a todos sus múltiplos impares. Debido a ello, los elementos radiantes dimensionados para la aplicación IFF irradian, del mismo modo, para la banda S.

La figura 1 representa una celda radiante según un primer modo de realización de la invención. Esta celda radiante, o una antena de elementos radiantes impresos, es un circuito impreso que comprende múltiples capas separadas por un sustrato dieléctrico, utilizando elementos distribuidos, es decir líneas de microcintas (designadas también por el término inglés "*microstrip*"). Esta tecnología se utiliza ampliamente en hiperfrecuencia ya que, para las frecuencias elevadas, la manipulación de las ondas a partir de guías de ondas es más simple que la manipulación de corrientes y tensiones. Una de las capas del circuito impreso forma un plano de masa.

La celda radiante comprende un elemento radiante de tipo parche. En elementos distribuidos, un parche es una capa metalizada de forma cuadrada o rectangular alimentada. Las dimensiones del parche se eligen con el fin de que irradie en la banda de frecuencias altas (banda S). Está situado en una de las capas del circuito.

La celda radiante comprende, del mismo modo, dos ranuras dobladas. Estas ranuras tienen el comportamiento de dipolos, a la vez que son menos sensibles a los fenómenos de acoplamiento. Las mismas se sintonizan para funcionar en las inmediaciones de las subbandas de interés de la banda de frecuencias bajas (en el ejemplo, 1030 MHz y 1090 MHz). Esta sintonización se hace dimensionando las cada una con respecto a una longitud de onda próxima a la longitud de onda buscada, teniendo la ranura por tanto una longitud de  $\lambda/2$ . Con el fin de disminuir ligeramente tamaño de las ranuras, la sintonización puede realizarse dimensionando con respecto a una longitud de onda ligeramente superior a la longitud de onda buscada, y después ajustando sus posiciones relativas, la posición de su excitador, y su posición con respecto al parche, para que los fenómenos de acoplamiento retrasen su frecuencia de funcionamiento sobre la frecuencia buscada. En el ámbito de una aplicación IFF/Banda S, también es posible utilizar ranuras cuya longitud se adapte a una frecuencia de funcionamiento ligeramente superior a 1100 MHz, lo que las hace compatibles, una vez dobladas en tres en forma de U, con una malla dimensionada con respecto a la frecuencia de 3,3 GHz, y después rechazar por acoplamiento su frecuencia de funcionamiento sobre las frecuencias de interés de 1030 MHz y 1090 MHz ajustando sus posiciones. El número de ranuras se adapta al número de bandas de frecuencias bajas deseadas. La utilización de dos ranuras dobladas en tres en forma de U y de una antena de parche permite alojar los tres elementos radiantes en un entorno muy reducido. Es igualmente posible plegar las ranuras en más de tres para hacer las entrar en la celda radiante según la invención.

Las ranuras se realizan por desmetalización parcial del plano de masa de la celda. La excitación de las ranuras se realiza por una cinta radiante situada entre las dos ranuras en uno de los planos del circuito impreso, con preferencia el plano adyacente al plano de masa, y conectada a la alimentación de la ranuras. El posicionamiento relativo de las dos ranuras 102 y del excitador 103 crea fenómenos de acoplamientos, a la vez entre los elementos de la banda de frecuencias bajas, pero también con el parche 101. Su posicionamiento debe por tanto ser ajustado con el fin de rechazar los artefactos generados por esta acoplamiento fuera de las bandas útiles. El ajuste de la separación entre las ranuras permite ajustar la frecuencia de resonancia de cada ranura y rechazar su funcionamiento sobre la frecuencia triple fuera de la banda de frecuencia alta.

El excitador 103 es alimentado por el acceso de banda de frecuencias bajas, al cual se conecta por una línea coaxial y un filtro de paso bajo.

Este filtro de paso bajo comprende, por ejemplo, dos condensadores, que en tecnología impresa toman la forma de tramos de líneas abiertas. El filtro tiene por función el filtrado de las componentes de la banda de frecuencias altas debidas al fuerte acoplamiento entre las ranuras y el parche.

El elemento radiante de tipo parche 101 es alimentado por el acceso de banda de frecuencias altas al cual está conectado por una línea coaxial y un filtro.

El filtro 110 tiene por función el filtrado de los componentes de la onda de frecuencias bajas debidos al fuerte acoplamiento entre las ranuras y el parche.

5 La realización de un filtro de paso alto o paso de banda necesita un encadenamiento de capacidades en serie y de inductancias paralelas difícil de realizar en tecnología distribuida, y por tanto el tamaño de las componentes, ligado a la banda de frecuencia baja, presenta el problema del volumen ocupado. Una manera alternativa de realizar un filtro de paso de banda consiste por tanto en insertar una o varias guías de ondas paralelas cortocircuitada, más conocidas según el nombre inglés de *stub*.

10 Una guía de onda paralela desempeña la función de circuito resonador en serie, y presenta un volumen ocupado muy reducido. Su longitud es proporcional a la longitud de onda en el dieléctrico de la frecuencia que se va a cortocircuitar. Por tanto, un *stub* se realiza a partir de un tramo de línea de microcinta de longitud  $\lambda_B/4$ , con  $\lambda_B$  siendo a longitud de onda de la banda de frecuencias bajas, desempeñará una función de cortocircuito en su onda de resonancia. En el ejemplo, se trata de la banda de frecuencias bajas. Sin embargo, las estructuras resonantes a base de líneas funcionan naturalmente de la misma manera a la frecuencia  $f_0$  y para todos los múltiplos impares de esta frecuencia. Este es el caso en el ejemplo, en el que la relación de las bandas de frecuencia es de 3. Por tanto, dicho *stub* desempeñará del mismo modo la función de cortocircuito para la banda de frecuencias altas.

15 Este problema se resuelve implementando un *stub* cuya longitud total está fraccionada en varios tramos de impedancia diferentes (conocidos en inglés bajo el término de "stepped impedance") variable. Dicho *stub* es dispersivo. Está dimensionado de manera que presenta un cortocircuito sobre su frecuencia fundamental, y un circuito abierto sobre su frecuencia triple. El filtro 110 de la figura 1 presenta dicho *stub* constituido de varios tramos de línea de microcinta de anchuras diferentes, y que presentan por tanto varias impedancias distintas. En el ejemplo, presenta tres impedancias diferentes, pero el número de tramos es un parámetro apropiado a cada implementación. Debido a las impedancias variables, el sistema no es homogéneo, su longitud eléctrica ya no depende linealmente de la frecuencia. Siendo su tamaño de  $\lambda_B/4$ , sintonizado para bloquear las componentes en la banda de frecuencias bajas pero ya no se adapta a la longitud eléctrica  $3 \cdot \lambda_B/4$ . Por tanto se realizan bien las funciones buscadas de filtrado de las componentes de la banda de frecuencias bajas a la vez que se dejan pasar las componentes de la banda de frecuencias altas.

20 Los diferentes elementos que constituyen la celda radiante según la invención se disponen en diferentes capas del circuito impreso. La figura 2 representa una vista en despiece de una celda radiante según el primer modo de realización de la invención, en la cual la posición de los elementos tiene por objetivo limitar el tamaño de la celda radiante.

25 En este ejemplo no limitativo, el circuito impreso comprende cuatro capas. Cada una de las capas comprende un sustrato dieléctrico sobre el cual se deposita una capa metálica grabada. La capa 201 superior comprende el elemento de tipo parche 101 sintonizado para funcionar en la banda de frecuencias altas.

30 La capa 202 inmediatamente inferior comprende el plano de masa de la celda radiante, en la cual dos elementos de tipo ranura 102, sintonizados para las bandas de frecuencias bajas, se realizan por desmetalización del plano de masa. Las ranuras se disponen de manera que no son obstruidas por el parche 101. Un posicionamiento ventajoso consiste por tanto en colocarlos en la periferia de la celda radiante, en el lado opuesto del parche.

35 La capa 203 inferior comprende el excitador 103 de ranuras. Finalmente la capa 204 más baja comprende el elemento 106 de filtrado de paso bajo conectado por un lado al acceso 105 y por otro lado al excitador 103 a través de una línea coaxial, descrita bajo la referencia 104 en la figura 1, le permite atravesar las diferentes capas del circuito impreso, y los elementos 110 de filtrado de paso de banda conectados por un lado al acceso 109 y por otro lado al parche 101 a través de una línea 108 coaxial.

40 La celda de radiación resultante tiene un formato ligeramente superior al formato del parche de banda S. A título de ejemplo, en el caso preciso de un funcionamiento para la banda S y las aplicaciones IFF, el tamaño del parche de banda S es de 25 mm x 25 mm. Utilizando ranuras dimensionadas para funcionar a 1150 MHz, y después buscando la posición de los diferentes elementos del dispositivo de manera que se les hace irradiar en las bandas de frecuencias buscadas, o utilizando ranuras ajustadas a las bandas de frecuencias de IFF y dobladas en más de tres partes, la celda radiante resultante del primer modo de realización se mantiene en un volumen ocupado del 45 mm x 45 mm, es decir  $\lambda_H/2 \times \lambda_H/2$ .

45 Esta celda irradia simultáneamente en la banda de frecuencias superior y en la banda de frecuencias inferior, pero presenta un acceso separado a cada una de estas bandas. Los diferentes elementos de filtrado permiten asegurar un fuerte desacoplamiento entre los dos accesos.

50 Ventajosamente, es posible completar la celda radiante por una capa 205 suplementaria, que comprende una segunda antena 206 de parche adaptada a la banda de frecuencias altas. Esta capa suplementaria está situada sobre la capa 201 más alta, estando superpuesto el segundo parche al primer parche 101. Este añadido permite aumentar la banda pasante en la banda de frecuencias altas, jugando sobre los efectos de acoplamiento entre los dos parches, sin modificar el tamaño de la celda.

Las figuras 3a y 3b representan un ejemplo de coeficiente de reflexión de las entradas y de desacoplamiento, respectivamente en la banda de frecuencias bajas y en la banda de frecuencias altas, asociadas a cada entrada de una celda radiante según el primer modo de realización de la invención.

5 Los resultados se obtienen por simulaciones por medio de un software de simulación electromagnética por el método de elementos finitos.

El coeficiente de reflexión de las entradas es representativo de la potencia de la señal reflejada en función de la frecuencia. Cuando este coeficiente tiende a 1 (es decir, 0dB), por tanto el conjunto de la potencia de la señal a la frecuencia determinada es rechazado. Cuanto más reducido es este coeficiente, más buena es la antena.

10 El desacoplamiento mide la potencia de fuga en la primera antena cuando la segunda antena funciona y recíprocamente. Es por tanto representativo del rendimiento de cohabitación de los dos tipos de elementos radiantes en el seno de la misma celda.

15 En la figura 3a, la curva 301 representa el coeficiente de reflexión del acceso dedicado a la banda de frecuencias bajas, para la banda de frecuencias baja (las subbandas de frecuencias contempladas en este modo de realización son bandas de algunos MHz o decenas de MHz alrededor de las frecuencias de 1,03 GHz y 1,09 GHz). Este coeficiente es inferior a, -10 dB alrededor de las frecuencias de 1,03 GHz y 1,09 GHz. El acceso dedicado a la banda de frecuencias bajas es por tanto adaptado a las aplicaciones IFF.

20 La curva 302 representa el coeficiente de reflexión del acceso dedicado a la banda de frecuencias altas, para la banda de frecuencias bajas. En la banda de 1,02 GHz-1,12 GHz, este coeficiente es constante, y vale 1 (es decir, 0dB). El acceso dedicado a la banda de frecuencias altas rechaza por tanto el conjunto de las componentes de la banda de frecuencias bajas. No se ve afectado por el acoplamiento con los elementos radiantes en las bandas de frecuencias bajas. Este análisis es confirmado por la medida del desacoplamiento 303 entre las dos entradas, que es superior a 24 dB en toda la banda.

25 En la figura 3b, la curva 311 representa el coeficiente de reflexión del acceso dedicado a la banda de frecuencias bajas, para la banda de frecuencias altas (la banda de frecuencias contempladas en este modo de realización es la banda de 2,9 GHz-3,3 GHz). Este coeficiente es constante, y vale 1 (es decir, 0dB). El acceso dedicado a la banda de frecuencias bajas rechaza por tanto el conjunto de las componentes de la banda de frecuencias altas. Por tanto no se ve afectado por el acoplamiento con los elementos radiantes en las bandas de frecuencias altas.

30 La curva 312 representa el coeficiente de reflexión del acceso dedicado a la banda de frecuencias altas, para la banda de frecuencias altas. En la banda de 2,9 GHz-3,3 GHz, este coeficiente inferior a -12,5 dB. El acceso dedicado a la banda de frecuencias alta es por tanto adaptado a esta banda de frecuencias. El desacoplamiento 313 entre las dos antenas es superior a 25 dB en la banda.

Las figuras 4a y 4b representan un ejemplo de diagramas de radiaciones de la entrada asociada a la banda de frecuencias bajas de una celda radiante según el primer modo de realización de la invención.

35 La figura 4a representa el diagrama de radiación en el plano horizontal del acceso a la banda de frecuencias bajas, para una frecuencia de 1,03 GHz de polarización principal (401) y cruzada (403), así como para una frecuencia de 1,09 GHz de polarización principal (402) y cruzada (404). La respuesta según la polarización cruzada en este plano es casi nula (-30 dB).

40 La polarización principal de un elemento radiante es el eje sobre el cual el campo eléctrico radiante es máximo. La polarización cruzada es el eje perpendicular al eje de polarización principal. Estos dos ejes se sitúan en el plano perpendicular a la dirección de propagación.

En el caso del dispositivo según la invención, la polarización principal se sitúa en el plano vertical (representado por el eje y en las figuras), mientras que la polarización cruzada se sitúa en el plano horizontal (representado por el eje x en las figuras).

45 La figura 4b representa el diagrama de radiación en el plano vertical del acceso a la banda de frecuencias bajas, para una frecuencia de 1,03 GHz (411) y de 1,09 GHz (412). En este plano, el nivel de polarización cruzada es casi nulo.

Los diagramas de radiación observados sobre el acceso a la banda de frecuencias bajas en el plano horizontal y vertical varían en coseno  $\theta$  para la polarización principal, siendo  $\theta$  la dirección de observación. Esta característica es necesaria para la realización de una antena de escaneo electrónico.

50 Las figuras 5a y 5b representan un ejemplo de diagramas de radiaciones de la entrada asociada a la banda de frecuencias altas de una celda radiante según el primer modo de realización de la invención.

La figura 5a representa el diagrama de radiación en el plano horizontal del acceso a la banda de frecuencias altas, para una frecuencia de 2,9 GHz en posición principal (501) y cruzada (502). La respuesta según la polarización cruzada es reducida con respecto a la respuesta según la polarización principal (típicamente de 15 dB a 30 dB de diferencia).

La figura 5b representa el diagrama de radiación en el plano vertical del acceso a la banda de frecuencias altas, para una frecuencia de 2,9 GHz de polarización principal (511). La respuesta de polarización cruzada en este plano es despreciable.

5 Los diagramas de radiación observados en la banda de frecuencias altas son característicos del diagrama de radiación de un parche. De hecho, este diagrama posee una variación próxima de una función coseno  $\theta$ , necesaria para la realización de una antena de escaneo electrónico.

La figura 6 representa una celda radiante según un segundo modo de realización de la invención. Este modo de funcionamiento limita el número de subbandas en las bandas de frecuencias bajas a dos.

10 De manera idéntica al primer modo de realización, la celda 600 radiante concebida según el segundo modo de realización de la invención comprende un elemento 101 radiante de tipo parche sintonizado en la banda de frecuencias superior. Este elemento radiante es alimentado por la salida 109 de banda alta a la cual está conectado por medio de una línea 108 coaxial permitiéndole atravesar las diferentes capas del circuito impreso, y de un filtro 110 realizado en forma de un *stub* que presenta varios tramos de impedancia variable, permitiendo filtrar la banda de frecuencias bajas a la vez que es pasante para la banda de frecuencias altas. Ventajosamente, un segundo elemento de tipo parche, idéntico al primero, se puede superponer al primer elemento de tipo parche 101, para agrandar la banda pasante en la banda de frecuencias altas.

20 La principal diferencia entre este modo de realización y el primero consiste en que sólo contiene un elemento único de tipo ranura 601, doblado en U y situado para encontrarse despejado con respecto a la ocultación que representa el o los parches 101. La banda de funcionamiento de este elemento se aumenta por tanto en el conjunto de la banda de frecuencias bajas, con el fin de comprender las dos subbandas requeridas para las aplicaciones IFF, por la asociación de un resonador 602. La ranura radiante, que forma un resonador en paralelo, puede ser completada por un resonador en serie colocado en el plano de salida, o por un resonador en paralelo colocado un cuarto de onda más lejos. El resonador 602 está por tanto colocado a una distancia  $L_1$  del conector 104 conectándole al excitador 103 de la ranura,  $L_1$  vale  $\lambda/4$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda central de la banda de frecuencias bajas.

25 La ranura 601 no está sintonizada en una de las subbandas de la banda de frecuencias bajas, sino en la frecuencia central, es decir en el caso del ejemplo elegido, la frecuencia de 1,06 GHz. La misma puede igualmente estar sintonizada a una frecuencia ligeramente más alta, de manera que es compatible, una vez doblada en tres partes, con una malla a la frecuencia alta. El resonador 602 es concebido para resonar a la misma frecuencia. La acción sobre el acoplamiento entre estos dos elementos, es decir la desadaptación creada entre estos dos elementos, los va hacer resonar alrededor de las frecuencias buscadas. El acoplamiento entre los dos elementos se ajusta haciendo variar la posición del excitador 103 de la ranura. La ranura 601, el circuito 602 resonador y el excitador 103 están por tanto dimensionados y situados con el fin de que el conjunto responda alrededor de las frecuencias de 1030 MHz y 1090 MHz, a la vez que permite una fuerte desadaptación en la zona de frecuencia intermedia. El elemento radiante así obtenido es de bifrecuencia. Este enfoque ofrece la ventaja de sólo introducir una sola ranura radiante en la celda, y reducir las interferencias entre la ranura y el parche, y por tanto los fenómenos de acoplamiento entre la banda de frecuencias bajas y la banda de frecuencias altas. El posicionamiento de la ranura 601 y del excitador 103 se simplifica por tanto con respecto al primer modo de realización.

40 En la figura 6, el circuito 602 resonador es de tipo de capacidad e inductancia paralelas. La inductancia 603 es de un valor reducido. Se realiza en forma de una línea de microcinta de longitud  $L_2$  conectada a la masa. El condensador 604 está realizado en forma de una línea de micro cinta cortocircuitada de longitud  $L_3$ , siendo  $L_3$  muy superior a  $L_2$ .

Ventajosamente, se puede añadir un filtro de paso bajo similar al filtro 106 del primer modo de realización de la invención para filtrar las componentes de las bandas altas ligadas al acoplamiento entre la ranura y el parche. Dicho filtro no es sin embargo indispensable en el segundo modo de realización, realizando el circuito resonador naturalmente la función de filtro de paso bajo.

45 En el segundo modo de realización, la disminución del número de elementos radiantes (ranuras) es compensada por un esfuerzo suplementario sobre el circuito de hiperfrecuencia de adaptación de la ranura.

Las figuras 7a y 7b representan un ejemplo de coeficiente de reflexión y de acoplamiento asociados a cada entrada de una celda radiante según el segundo modo de realización de la invención. Los resultados son obtenidos por simulaciones por medio de un software de simulación electromagnética por el método de elementos finitos.

50 En la figura 7a, la curva 701 representa el coeficiente de reflexión del acceso dedicado a la banda de frecuencias bajas para la banda de frecuencias bajas (las bandas de frecuencias contempladas en este modo de realización son bandas de algunos MHz o decenas de MHz alrededor de las frecuencias de 1,03 GHz y 1,09 GHz). Este coeficiente es próximo o inferior a -10 dB alrededor de las frecuencias de 1,03 GHz y de 1,09 GHz. El acceso dedicado a la banda de frecuencias bajas es por tanto adaptado a las aplicaciones IFF.

55 La curva 702 representa el coeficiente de reflexión del acceso dedicado a la banda de frecuencias altas, para la banda de frecuencias bajas. En la banda de 1 GHz-1,15 GHz, este coeficientes constante y vale 1 (es decir 0dB). El acceso dedicado a la banda de frecuencias altas rechaza por tanto el conjunto de las componentes de la banda de frecuencias

bajas. No se ve afectado por el acoplamiento con los elementos radiantes en las bandas de frecuencias bajas. El desacoplamiento 703 entre los accesos de la ranura y del parche es del orden de 30 dB.

5 En la figura 7b, la curva 711 representa el coeficiente de reflexión del acceso dedicado a la banda de frecuencias bajas, para la banda de frecuencias altas (la banda de frecuencias contempladas en este modo de realización en la banda de 2,9 GHz-3,3 GHz). Este coeficiente es casi constante, y vale 1 (es decir, 0dB) sobre casi la totalidad de la banda. El acceso dedicado a la banda de frecuencias bajas rechaza por tanto el conjunto de las componentes de la banda de frecuencias altas, no se ve afectado por el acoplamiento con los elementos radiantes en la banda de frecuencias altas.

10 La curva 712 representa el coeficiente de reflexión del acceso dedicado a la banda de frecuencias altas. En la banda de 2,9 GHz-3,3 GHz, este coeficiente es bastante inferior a -12,5 dB. El acceso dedicado a la banda de frecuencias altas se adapta por tanto a esta banda de frecuencias.

El desacoplamiento 713 entre las 2 antenas es superior a 12,5 dB en la banda.

Las figuras 8a y 8b representan un ejemplo de diagramas de radiaciones de la entrada asociada a la banda de frecuencias bajas de una celda radiante según el segundo modo de realización de la invención.

15 La figura 8a representa el diagrama de radiación en el plano horizontal del acceso a la banda de frecuencias bajas, para una frecuencia de 1,03 GHz de polarización principal (801) y cruzada (803), así como para una frecuencia de 1,09 GHz de polarización principal (802) y cruzada (804). La respuesta según la polarización principal en este plano es casi nula (-30 dB).

20 La figura 8b representa el diagrama de radiación en el plano vertical del acceso a la banda de frecuencias bajas, para una frecuencia de 1,03 GHz de polarización principal (811), así como para una frecuencia de 1,09 GHz de polarización principal (812). En este plano, la polarización cruzada es despreciable.

Los diagramas de radiación observados sobre el acceso a la banda de frecuencias bajas en el primer y el segundo plano varían en coseno  $\theta$  para la polarización principal, siendo  $\theta$  la dirección de observación. Esta característica es necesaria para la realización de una antena de escaneo electrónico.

25 Las figuras 9a y 9b representan un ejemplo de diagramas de radiaciones de la entrada asociada a la banda de frecuencias altas de una celda radiante según el primer modo de realización de la invención.

La figura 9a representa el diagrama de radiación en el plano horizontal del acceso a la banda de frecuencias altas, para una frecuencia de 2,9 GHz de polarización principal (901) y cruzada (902). La respuesta según la polarización cruzada es reducida con respecto a la respuesta según la polarización principal (típicamente 30 dB de diferencia).

30 La figura 9b representa el diagrama de radiación en un plano vertical del acceso a la banda de frecuencias altas, para una frecuencia de 2,9 GHz de polarización principal (911). No hay respuesta de polarización cruzada en este plano de la celda.

35 Los diagramas de radiación observados en banda de frecuencias altas son característicos del diagrama de radiación de un parche. De hecho, este diagrama de radiación en el primer plano posee una variación en coseno  $\theta$  característica de una antena de parche, y necesaria para la realización de una antena de escaneo electrónico.

La figura 10 representa una celda radiante según un tercer modo de realización de la invención. Es una variante del primer modo de realización, que comprende un elemento radiante de tipo ranura para cada una de las subbandas contempladas en la banda de frecuencias bajas.

40 Este modo de realización se diferencia del primero en que los dos elementos de tipo ranura 1001 y 1011 están disociados y colocados a cada lado del elemento de tipo parche, siempre en la periferia de la celda radiante de manera que no son ocultados por el parche. Este alejamiento entre las dos ranuras permite reducir los fenómenos de acoplamiento entre ellas. Cada una de las ranuras está sintonizada con respecto a la frecuencia central de una de las subbandas de la banda de frecuencias bajas, o llevada a esta frecuencia por acoplamiento. Finalmente, cada una de las ranuras está conectada a un acceso distinto. La celda radiante dispone por tanto de tres accesos: un primer acceso  
45 hacia la banda de frecuencias altas, y un acceso para cada una de las subbandas de la banda de frecuencias bajas.

En este modo de realización, la primera ranura 1001 está alimentada por el acceso 1003 al cual está conectada por medio de un excitador 1002, de una línea 1004 coaxial y de un filtro 1005 de paso bajo.

De manera totalmente idéntica, la segunda ranura 1011 está alimentada por el acceso 1013 al cual está conectada por medio de un excitador 1012, de una línea 1014 coaxial, y de un filtro 1015 de paso bajo.

50 La invención comprende, del mismo modo, una red radiante realizada a partir de celdas radiantes bibandas tales como las definidas anteriormente. Cada una de las celdas puede por tanto ser controlada en amplitud y/o en fase en cada una de las bandas de interés, es decir en el ejemplo preciso, en la banda S (y de forma más particular la subbanda de 2,9 GHz-3,3 GHz) y en la banda dedicada a las aplicaciones IFF (1,03 GHz y 1,09 GHz).

La misma consiste finalmente en un radar bibanda que comprende una única antena de escaneo electrónico, estando realizada la antena a partir de la red radiante descrita anteriormente, y funcionando de formas independiente en las dos bandas de frecuencia.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo radiante en dos bandas de frecuencias distintas, una banda de frecuencias altas y al menos una subbanda de una banda de frecuencias bajas, dicho dispositivo que está **caracterizado porque** comprende:
- 5
- al menos un elemento de tipo parche (101) adaptado a la banda de frecuencias altas y conectado a un primer acceso (109).
  - al menos un elemento de tipo ranura (102) doblada, adaptado a la banda de frecuencias bajas y conectada a un segundo acceso (105) diferente de dicho primer acceso,
  - un filtro (110) situado entre dicho elemento de tipo parche y dicho primer acceso, configurado para filtrar la banda de frecuencias bajas y ser pasante para la banda de frecuencias altas,
- 10 y **porque** los elementos que lo constituyen están situados en una superficie inferior o igual a un cuadrado del borde  $\lambda/2$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda correspondiente a la frecuencia máxima de la banda de frecuencias altas.
2. Dispositivo radiante según la reivindicación anterior, en el cual dicho elemento de tipo ranura (102) está alojado en un plano de masa del dispositivo.
3. Dispositivo radiante según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual el o dichos elementos de tipo ranura doblada (102) están doblados en forma de U y situados en la periferia del dispositivo.
- 15
4. Dispositivo radiante según una de las realizaciones anteriores, en el cual el número de elementos de tipo ranura es igual al número de subbandas de la banda de frecuencias bajas, siendo alimentados dichos elementos de tipo ranura por un mismo segundo acceso.
5. Dispositivo radiante según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual el número de elementos de tipo ranura es igual al número de subbandas de la banda de frecuencias bajas, siendo alimentados dichos elementos de tipo ranura por accesos diferentes.
- 20
6. Dispositivo radiante según una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende un único elemento de tipo ranura (601) alimentada por dicho segundo acceso (109) al cual está conectado por un circuito resonador (602), siendo ajustado el acoplamiento entre dicha ranura y dicho circuito resonador para irradiar en dos subbandas distintas de la banda de frecuencias bajas.
- 25
7. Dispositivo radiante según la reivindicación 6, en el cual dicho circuito resonador (602) es un circuito resonador en paralelo que comprende una inductancia (603) y un condensador (604), estando conectado dicho resonador al elemento de tipo ranura (601) para una guía de onda de longitud  $\lambda/4$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda asociada a la frecuencia central de la banda de frecuencias bajas.
- 30
8. Dispositivo radiante según una de las realizaciones anteriores, en el cual dicho filtro (110) situado entre el elemento de tipo parche (101) y el primer acceso (109) comprende una pluralidad de tramos de línea de microcinta de anchuras diferentes.
9. Dispositivo radiante según una de las realizaciones anteriores, que comprende además un filtro (106) de paso bajo situado entre el o dichos elementos de tipo ranura (102) y dicho segundo acceso (105), y configurado para filtrar la banda de frecuencias altas.
- 35
10. Dispositivo radiante según una de las realizaciones anteriores, que comprende además un segundo elemento (206) de tipo parche adaptado a la banda de frecuencias altas, estando dispuesto dicho segundo elemento de tipo parche por encima de dicho primer elemento de tipo parche.
- 40
11. Dispositivo radiante según una de las realizaciones anteriores, implementadas en un circuito impreso multicapa para el cual dicho elemento de tipo parche (101), el o dichos elementos de tipo ranura (102), y dicho filtro (110) situado entre el elemento de tipo parche y el primer acceso están en capas (201, 202, 203, 204) diferentes del circuito impreso.
12. Dispositivo radiante según la reivindicación anterior, en el cual al menos una frecuencia de la banda de frecuencias altas es un múltiplo entero impar de una frecuencia de la banda de frecuencias bajas.
13. Dispositivo radiante según la reivindicación anterior, en el cual la banda de frecuencias altas comprende la banda de 2,9 GHz-3,3 GHz.
- 45
14. Dispositivo radiante según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual la subbanda de la banda de frecuencias bajas está centrada alrededor de una frecuencia elegida entre la frecuencia de 1030 MHz y la frecuencia de 1090 MHz.
15. Dispositivo radiante según una de las reivindicaciones anteriores, realizado en tecnología impresa.
- 50
16. Red radiante configurada para irradiar en dos bandas de frecuencias distintas, **caracterizada porque** comprende dispositivos radiantes según una de las reivindicaciones anteriores.

17. Radar de escaneo electrónico configurado para funcionar simultáneamente en dos frecuencias diferentes y **caracterizado porque** comprende una red radiante según la reivindicación 16.

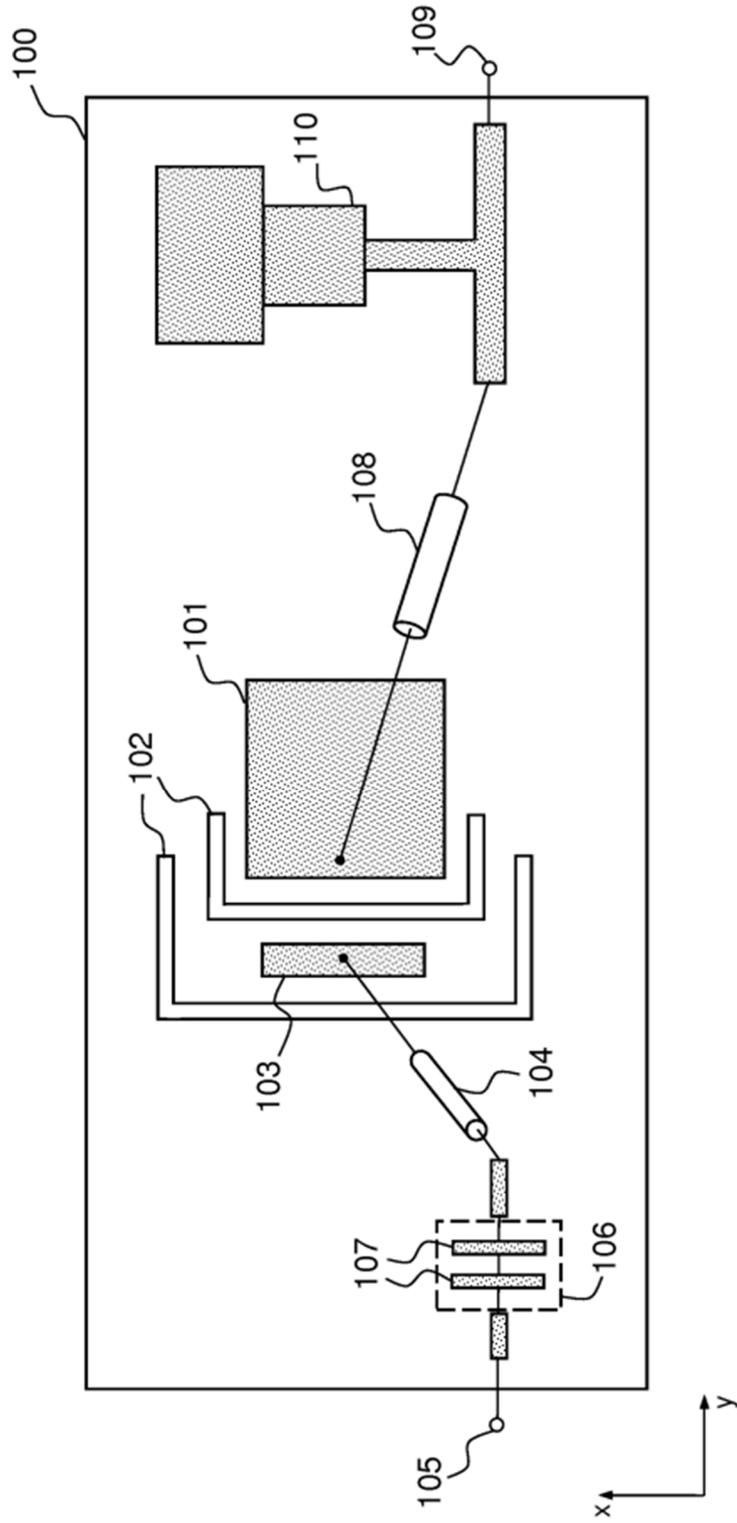


FIG.1

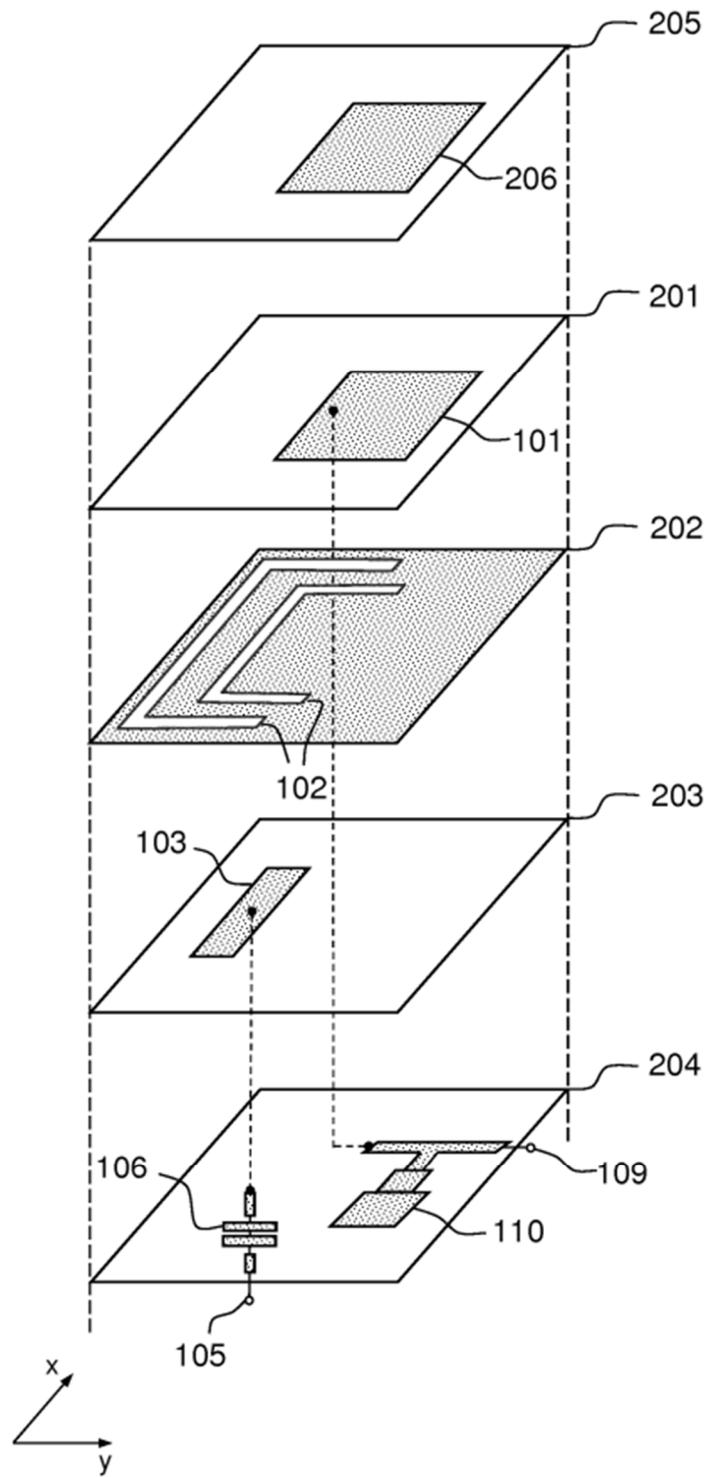


FIG.2

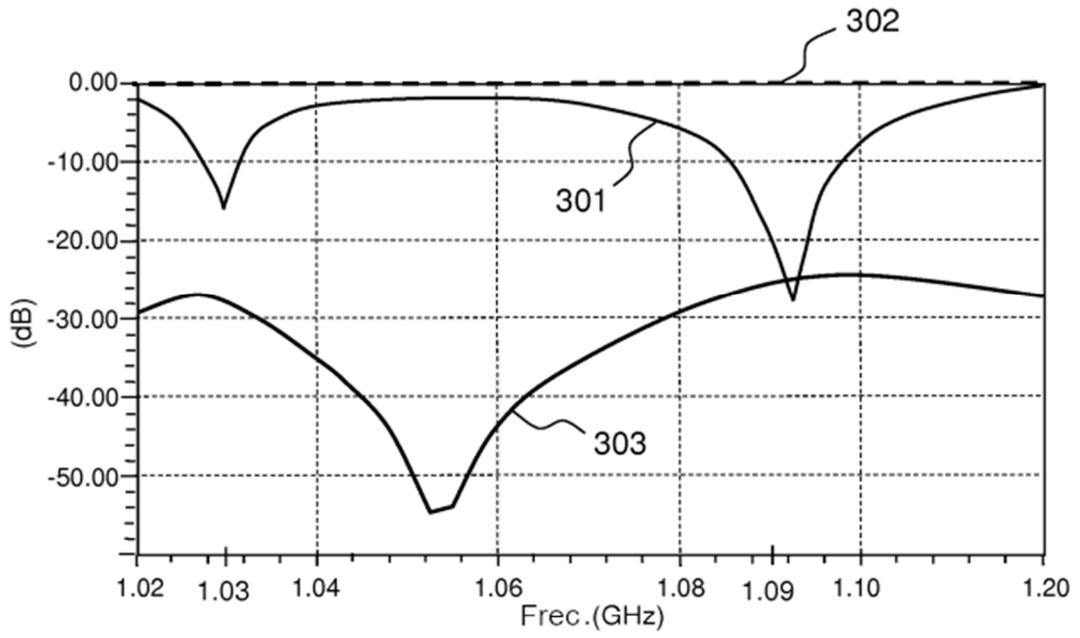


FIG.3a

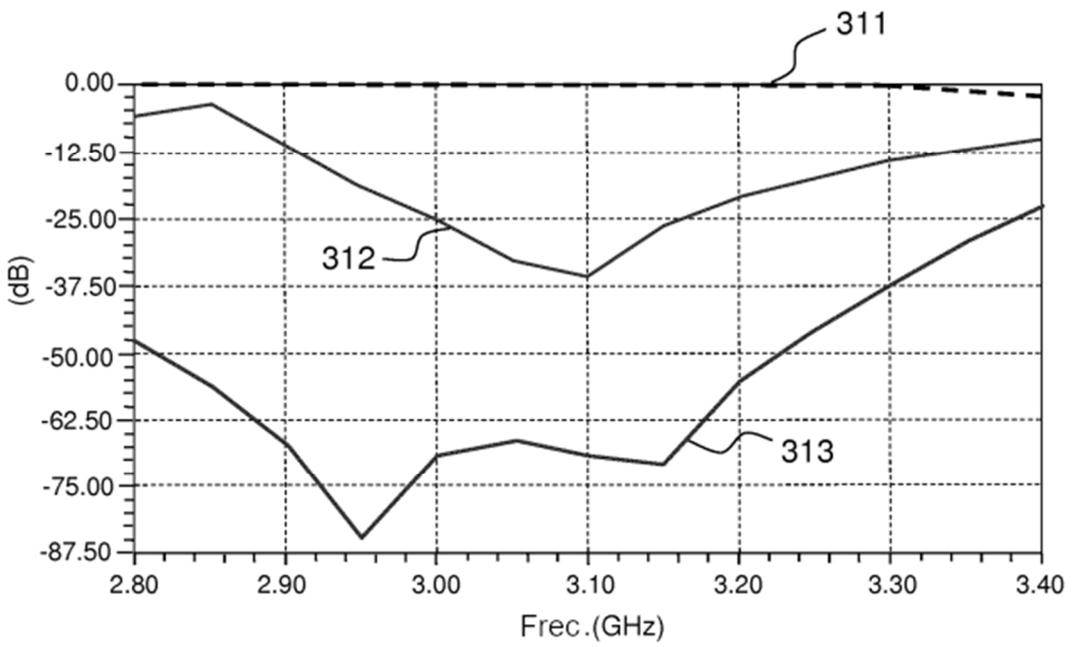


FIG.3b

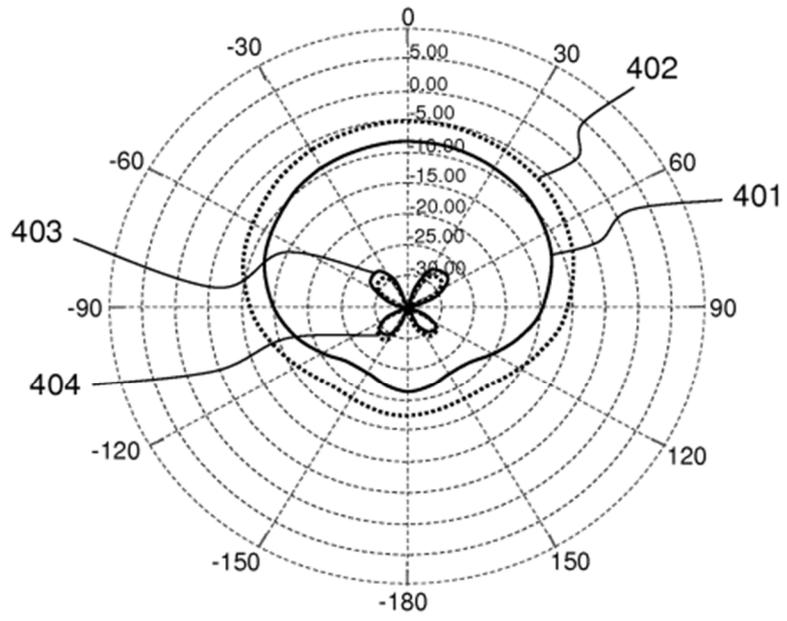


FIG.4a

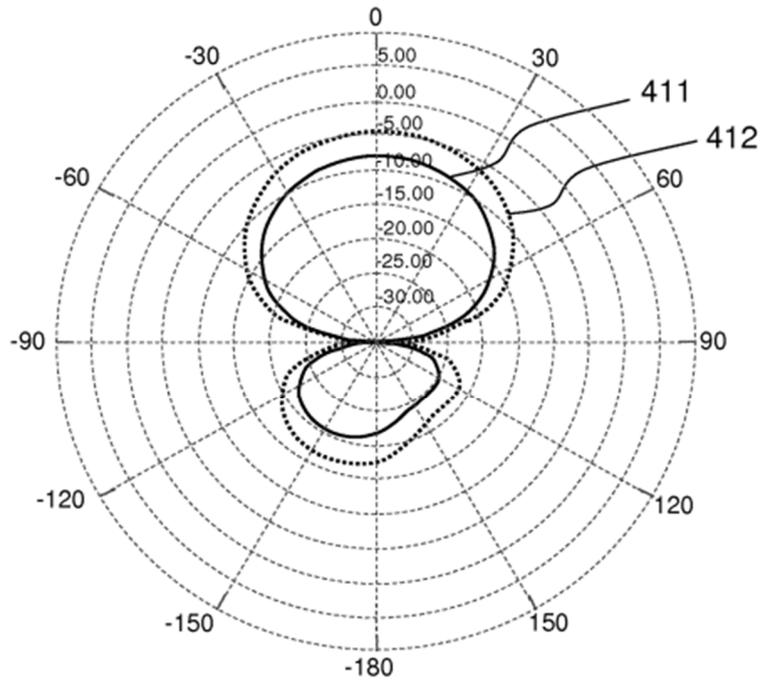


FIG.4b

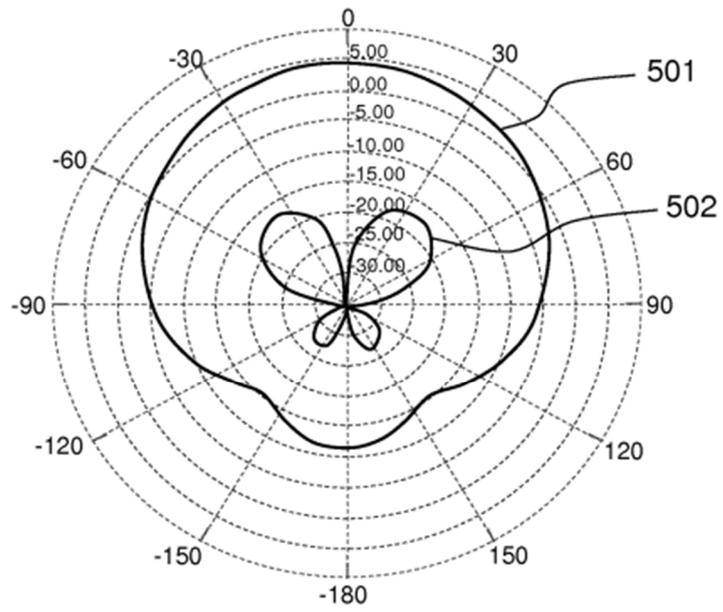


FIG.5a

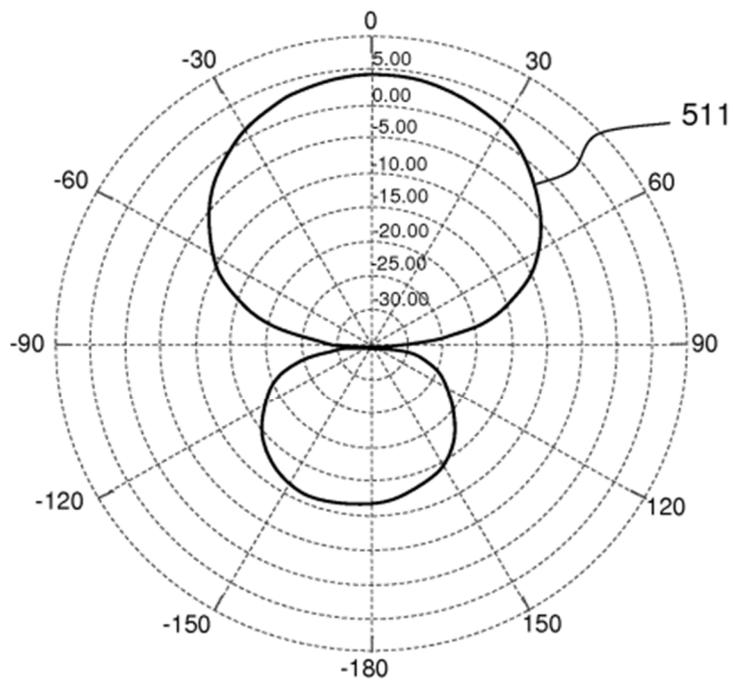


FIG.5b

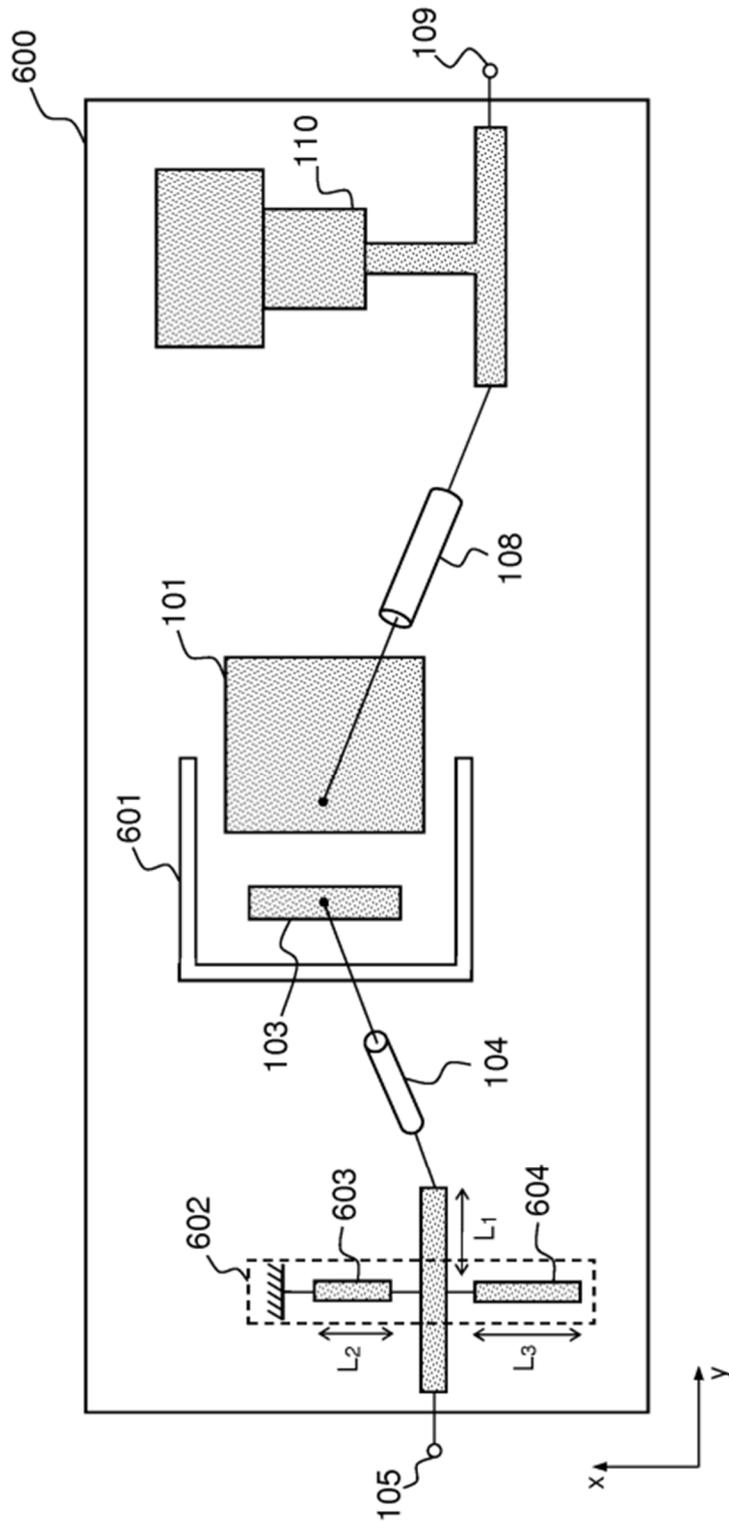


FIG.6

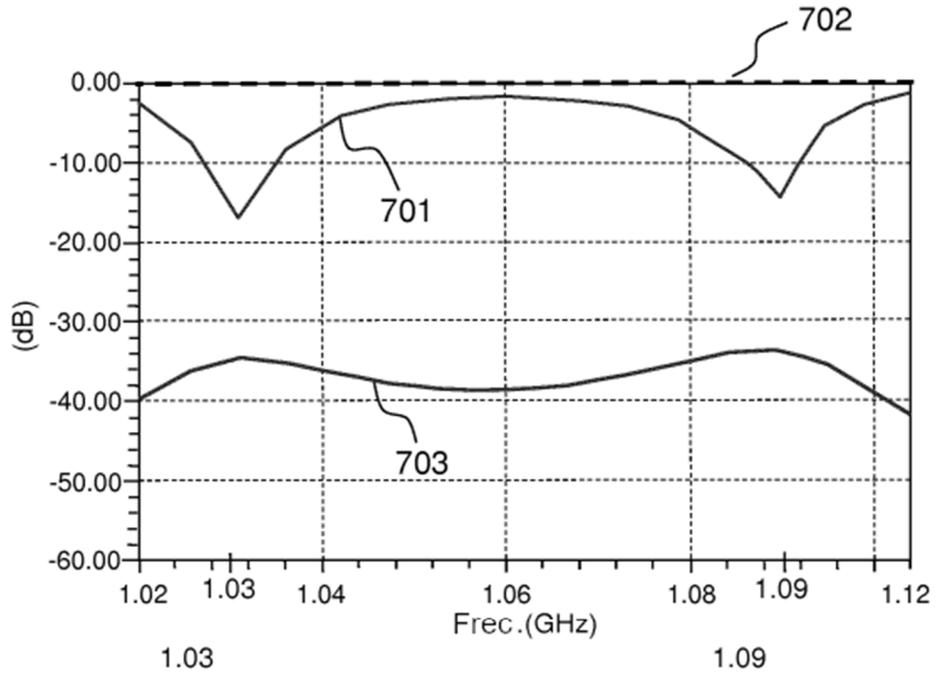


FIG. 7a

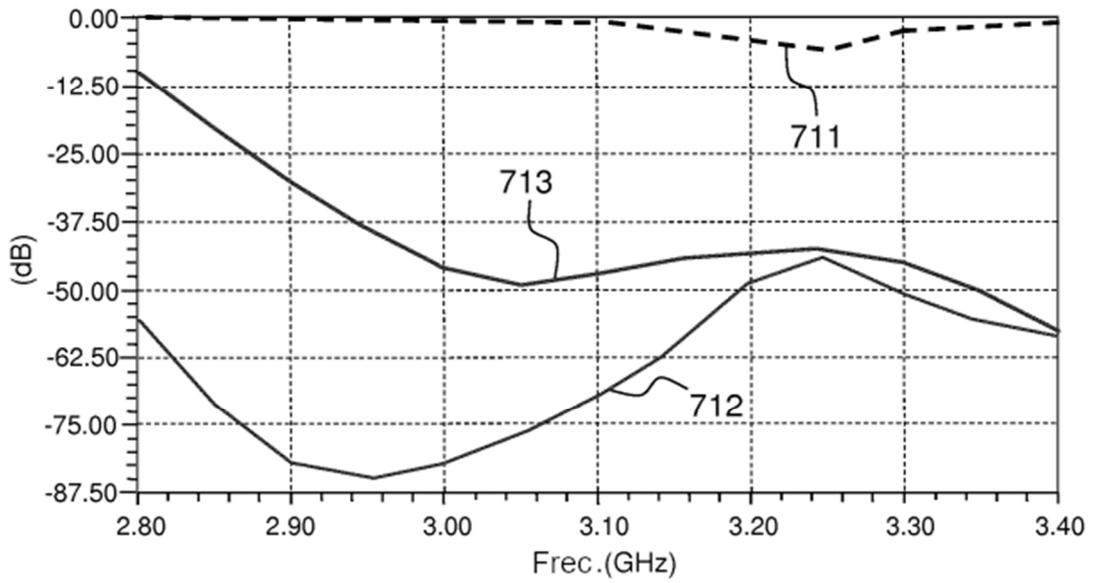


FIG. 7b

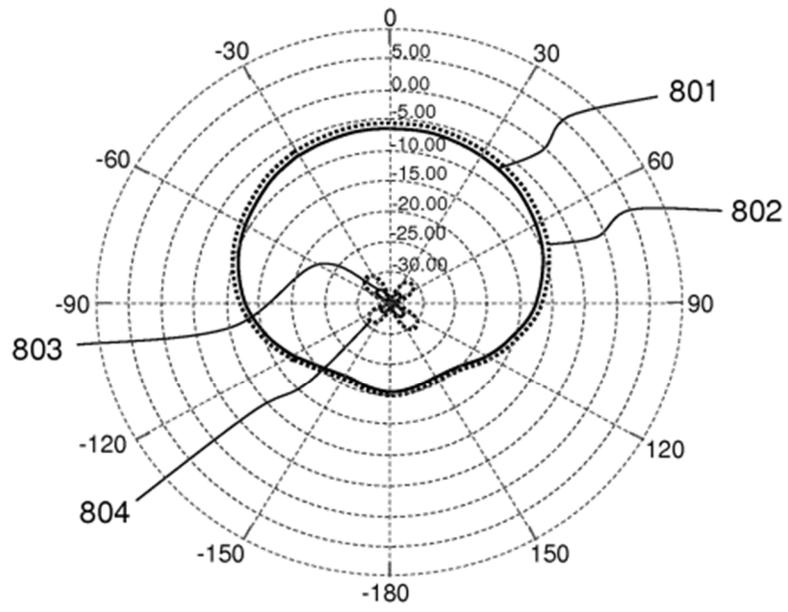


FIG.8a

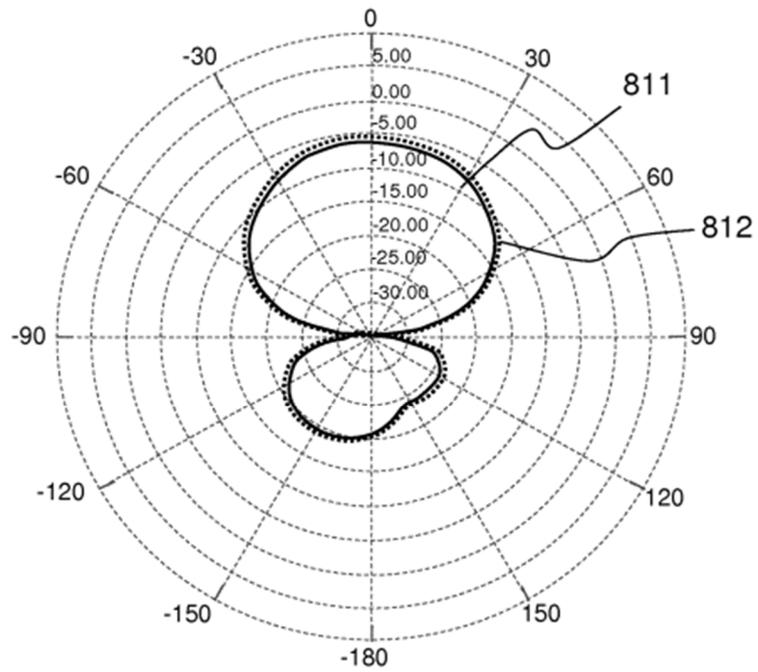


FIG.8b

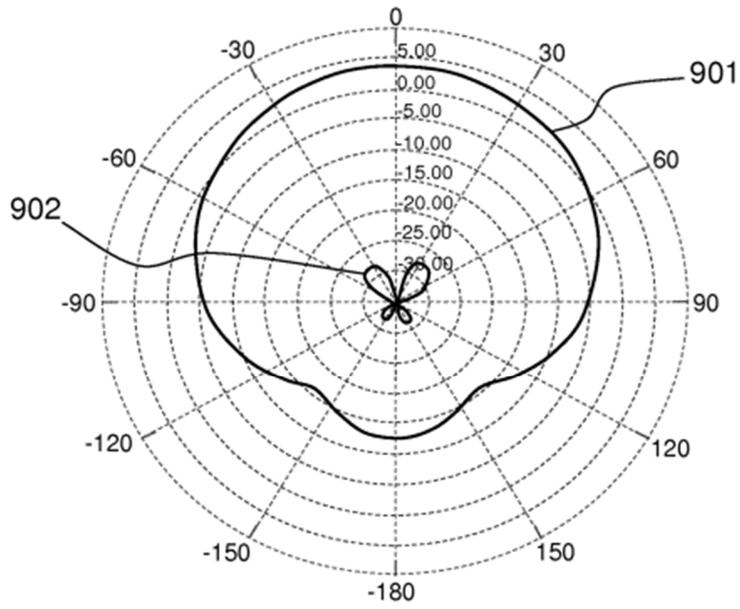


FIG.9a

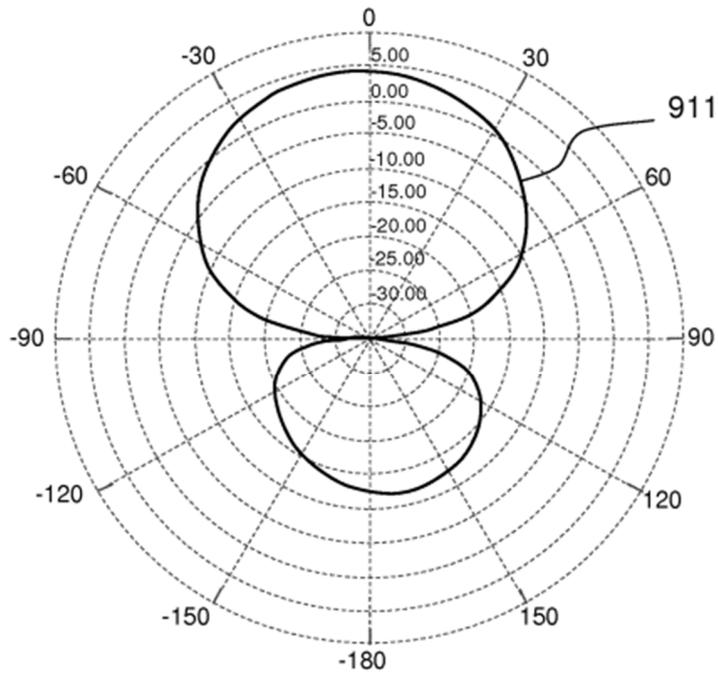


FIG.9b

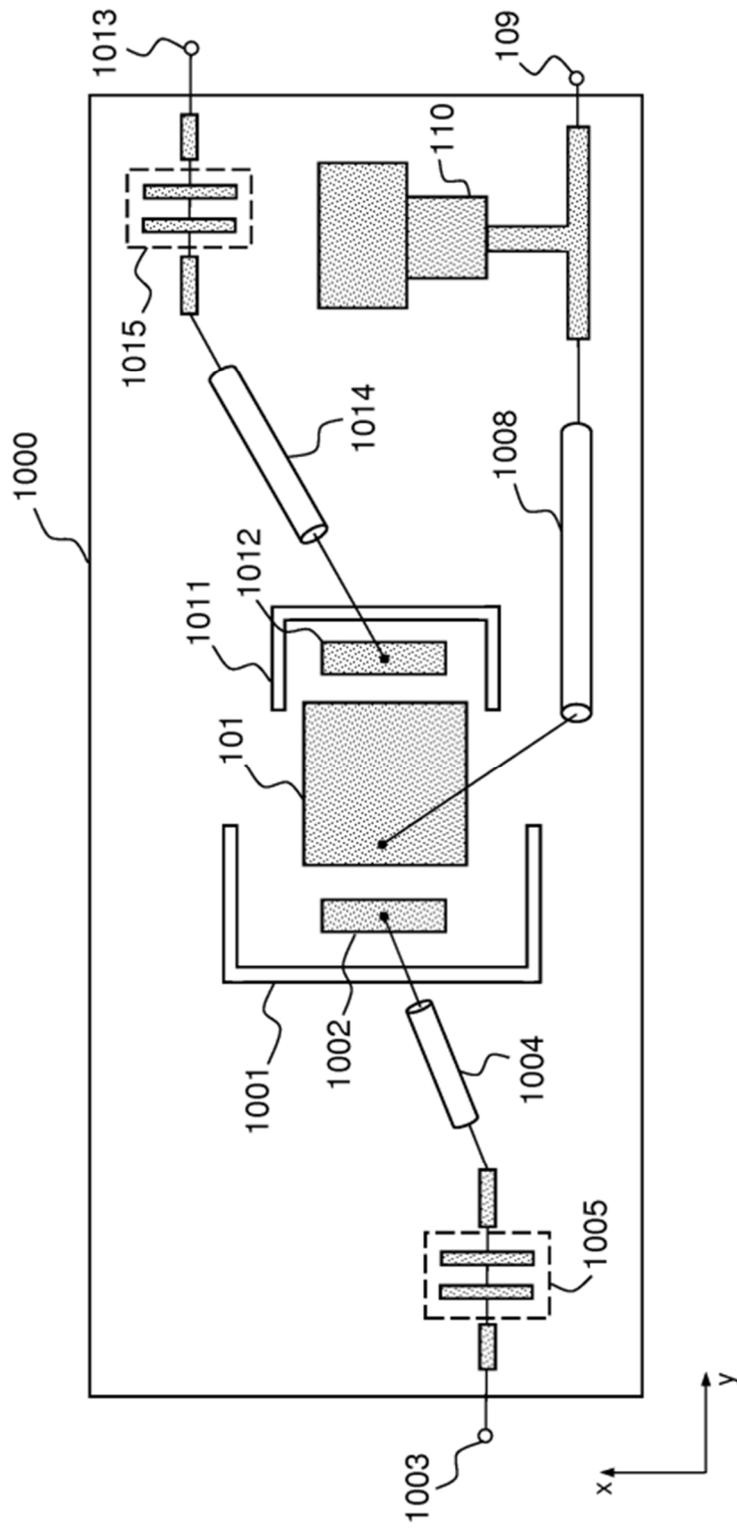


FIG.10