

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 875**

51 Int. Cl.:

H05K 1/03 (2006.01)

H01Q 15/00 (2006.01)

H05K 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2017 PCT/EP2017/067630**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.01.2018 WO18011312**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2017 E 17751030 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020 EP 3485535**

54 Título: **Estructura compuesta de características dieléctricas reconfigurables y conjunto que comprende dicha estructura compuesta**

30 Prioridad:

13.07.2016 FR 1601099

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

19.11.2020

73 Titular/es:

**NAVAL GROUP (33.3%)
40-42 rue du Docteur Finlay
75015 Paris, FR;
UNIVERSITÉ DE RENNES I (33.3%) y
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (33.3%)**

72 Inventor/es:

**RUBRICE, KEVIN;
CASTEL, XAVIER;
HIMDI, MOHAMMED y
PARNEIX, PATRICK**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 794 875 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

Estructura compuesta de características dieléctricas reconfigurables y conjunto que comprende dicha estructura compuesta

5

[0001] La presente invención se refiere a una estructura compuesta de características dieléctricas reconfigurables.

[0002] A partir de los documentos US 2004/184752 y US 5739796 se conocen dichas estructuras.

10

[0003] La invención se refiere en particular a estructuras compuestas activas multifuncionales que presentan a la vez una función estructural y una o varias funcionalidades en el campo de las aplicaciones de hiperfrecuencias, por ejemplo, en términos de furtividad, blindaje, integración o desacoplamiento de antenas, o una función de radomo.

15 **[0004]** Los sustratos de materiales compuestos, ya sean monolíticos o de tipo sándwich, están dotados de características dieléctricas complejas (parte real + parte imaginaria) definidas para una composición dada de la estructura y a una frecuencia de trabajo dada. Estas características dieléctricas son fijas y no reconfigurables en lo existente.

20 **[0005]** Dichos sustratos pueden estar integrados en un sistema de hiperfrecuencia constituido por ejemplo por un radomo de materiales compuestos y la antena alojada, o por un circuito impreso en un sustrato de material compuesto, o incluso por una antena integrada en una pared estructural de material compuesto.

25 **[0006]** Por ejemplo, un sistema de hiperfrecuencia puede estar constituido por una antena y por una pared formada por un sustrato en un material compuesto, que es por ejemplo la pared portadora de la antena o un radomo. La reconfigurabilidad de dicho sistema de hiperfrecuencia está asegurada en general por la antena, por medio del uso de componentes activos y controlables eléctricamente tales como diodos PIN, varicap, transistores y/o MEMS, teniendo el sustrato de material compuesto una función totalmente pasiva.

30 **[0007]** Se ha propuesto usar, en la pared, materiales activos reconfigurables, por ejemplo, depositando capas delgadas de materiales versátiles, cuyos parámetros dieléctricos son controlables, en un sustrato pasivo específico. La reconfigurabilidad del sistema de hiperfrecuencia es garantizada entonces ya no por la antena en sí sino por la pared activa.

35 **[0008]** Dicha solución no es totalmente satisfactoria. Especialmente, el uso de dichas paredes se reserva a una escala local, debido a las numerosas restricciones relacionadas con estas paredes que limitan su uso a mayor escala. En particular, estas paredes no están adaptadas para la realización de grandes estructuras tales como las estructuras navales.

40 **[0009]** Un objetivo de la invención es por tanto proponer una estructura compuesta que tiene propiedades dieléctricas reconfigurables y que esté adaptada a la vez para un uso como pared portadora de una antena o como radomo, y para un uso a gran escala como panel estructural, especialmente de un soporte naval, terrestre o aéreo.

[0010] Para este fin, la invención tiene por objeto una estructura compuesta según la reivindicación 1.

45

[0011] La estructura según la invención puede comprender una o varias de las características de las reivindicaciones 2 a 9.

[0012] La invención tiene además por objeto un conjunto según la reivindicación 10.

50

[0013] La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción que se ofrece a continuación, dada únicamente a modo de ejemplo y realizada en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

55 - la figura 1 es un esquema de una estructura compuesta según una primera realización, que comprende un sustrato compuesto hecho de un material compuesto monolítico;

- la figura 2 es un esquema de una estructura compuesta según una segunda realización, que comprende un sustrato compuesto de tipo sándwich;

- la figura 3 ilustra de manera esquemática un alma en nido de abeja de un sustrato compuesto de tipo sándwich según la segunda realización;

60 - la figura 4 ilustra esquemáticamente una estructura compuesta según la primera realización, provista de una línea de microcinta y de un soporte;

- la figura 5 es un gráfico que ilustra la variación del coeficiente de transmisión S_{21} de la estructura compuesta de la figura 4 en función de la frecuencia y de la temperatura,

- la figura 6 es un aumento de la figura 5, centrado en un primer pico de frecuencia;

65 - la figura 7 es un aumento de la figura 5, centrado en un segundo pico de frecuencia;

- la figura 8 ilustra esquemáticamente un alma de estructura alveolar de tipo nido de abeja de un sustrato compuesto de tipo sándwich según la segunda realización, provista de resistencias calefactoras;
- la figura 9 es un gráfico que ilustra la variación del coeficiente de reflexión S_{11} del alma de la figura 8 en función de la frecuencia y de la temperatura.

5

[0014] En el conjunto de las realizaciones descritas en referencia a las Figuras 1 a 3, la estructura compuesta comprende un sustrato compuesto y una pluralidad de cargas activas dispersas en el sustrato compuesto.

[0015] Las cargas activas están hechas de un material piezoeléctrico, cuyas características dieléctricas pueden modificarse mediante la aplicación de una orden a la estructura compuesta, y por tanto a las cargas activas. El material piezoeléctrico es por ejemplo también piroeléctrico, es decir, piezoeléctrico y piroeléctrico. El material piezoeléctrico puede ser además ferroeléctrico, es decir, piezoeléctrico, piroeléctrico y ferroeléctrico.

[0016] Por este motivo, las características dieléctricas de la estructura compuesta que incluyen estas cargas son también modificables, y por tanto reconfigurables, mediante la aplicación de esta orden.

[0017] En particular, las cargas activas se caracterizan por una permitividad dieléctrica compleja $\epsilon^* = \epsilon' + j\epsilon''$, en la que ϵ' y ϵ'' son respectivamente la componente real y la componente imaginaria de la permitividad eléctrica compleja ϵ^* del material que constituye las cargas activas.

20

[0018] El factor o tangente de pérdidas $\tan \delta$ de estas cargas activas se define como: $\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$.

[0019] La permitividad dieléctrica compleja de las cargas activas, y por tanto de la estructura que las integra, puede modificarse mediante la aplicación de una orden adaptada, de manera que se hacen variar las propiedades de absorción y de reflexión por la estructura compuesta de ondas electromagnéticas incidentes en este sustrato compuesto.

[0020] En particular, la permitividad eléctrica compleja de las cargas activas depende de la orden aplicada a las cargas. La permitividad dieléctrica compleja de las cargas activas es por tanto modificable mediante la aplicación de una orden.

30

[0021] Si el material es solo piezoeléctrico, es decir, no presenta propiedades piroeléctricas, y por tanto tampoco propiedades ferroeléctricas, la permitividad dieléctrica compleja de las cargas activas puede modificarse mediante la aplicación de una orden mecánica.

35

[0022] Si el material es además piroeléctrico, la permitividad dieléctrica compleja de las cargas activas puede modificarse mediante la aplicación de una orden mecánica, térmica u óptica.

[0023] Si el material es además ferroeléctrico, la permitividad dieléctrica compleja de las cargas activas puede modificarse mediante la aplicación de una orden mecánica, térmica, óptica o eléctrica.

40

[0024] Preferentemente, las cargas activas están hechas de un material ferroeléctrico, que tiene por tanto igualmente propiedades piezoeléctricas y piroeléctricas.

[0025] Así, la permitividad eléctrica compleja de las cargas activas puede modificarse mediante la aplicación de una orden eléctrica, una orden térmica, una orden óptica y/o una orden mecánica.

45

[0026] Las cargas activas están por ejemplo dispersas en el conjunto del sustrato. En este caso, las características dieléctricas del conjunto de la estructura compuesta son reconfigurables. En particular, las cargas activas están por ejemplo dispersas de manera uniforme en el sustrato.

50

[0027] Como variante, las cargas activas están dispersas localmente, en una porción localizada o varias porciones localizadas del sustrato compuesto. En este caso, las características dieléctricas de la o las porciones de la estructura compuesta que comprende cargas activas son reconfigurables. En esta porción o en cada una de estas porciones, las cargas activas están por ejemplo dispersas de manera uniforme.

55

[0028] Las cargas activas están hechas por ejemplo de un material ferroeléctrico que se elige preferentemente entre la familia de las perovskitas, la familia de las ilmenitas, la familia de los pirocloros, la familia de los bronce cuadráticos y la familia de las fases de Aurivillius, estando el material elegido en su caso dopado.

60

[0029] Especialmente, el material ferroeléctrico es por ejemplo un material de la familia de las perovskitas, por ejemplo BaTiO_3 , CaTiO_3 , KTaO_3 , YMnO_3 , PbTiO_3 , etc.

60

[0030] El material ferroeléctrico puede ser, asimismo:

65

- una ilmenita, por ejemplo, LiNbO_3 ,
- un pirocloro, especialmente $\text{Cd}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$,
- un bronce cuadrático, especialmente PbNb_2O_6 ,
- una fase de Aurivillius, especialmente $\text{BiTi}_3\text{O}_{12}$ o $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$, etc.

5

[0031] El material ferroeléctrico puede ser una fase dopada de uno de los materiales mostrados anteriormente, por ejemplo, $\text{Ba}_{1-x}\text{SrTiO}_3$, $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{TiO}_3$, $\text{AgTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$, $\text{Sr}_{1-x}\text{Bi}_x\text{TiO}_3$, $\text{Pb}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$, $\text{BaZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ etc.

[0032] El valor del coeficiente x puede elegirse entre 0 y 1, en función especialmente de la temperatura de Curie deseada para el material.

[0033] El material ferroeléctrico puede ser asimismo un material multiferroico, por ejemplo, BiFeO_3 , que presenta varias propiedades ferroicas. Por ejemplo, el material es a la vez ferroeléctrico, ferroelástico y ferromagnético.

15 **[0034]** Pueden combinarse varios materiales ferroeléctricos. Las cargas activas están entonces constituidas por una mezcla de al menos dos materiales ferroeléctricos.

[0035] Además, pueden combinarse varios materiales piroeléctricos, o varios materiales piezoeléctricos.

20 **[0036]** La orden, especialmente eléctrica, térmica u óptica o mecánica, puede aplicarse al conjunto de la estructura compuesta, de manera que se controlen las características dieléctricas de manera uniforme en el conjunto de la estructura compuesta, o en una porción solamente de la estructura compuesta, de forma que se controlen las características dieléctricas de esta porción de la estructura compuesta, independientemente del resto de la estructura compuesta. Naturalmente, puede aplicarse una orden diferente al resto de la estructura compuesta.

25

[0037] En particular, una orden eléctrica comprende la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico a al menos una porción de la estructura compuesta, por ejemplo, una diferencia de potencial impuesta entre las dos caras de la estructura compuesta, de lo que se obtiene una modificación de la permitividad eléctrica compleja de las cargas activas, y por tanto de la porción seleccionada de la estructura compuesta o del conjunto de la estructura compuesta.

30

[0038] Una orden térmica está hecha imponiendo a al menos una porción de la estructura compuesta una temperatura dada, de lo que se obtiene una modificación de la permitividad eléctrica compleja de las cargas activas en esta porción. Para permitir dicha orden térmica, la estructura compuesta puede asociarse, por ejemplo, a una o varias resistencias dispuestas en el perímetro de la estructura compuesta.

35

[0039] Una orden óptica se realiza por ejemplo dirigiendo una fuente óptica, por ejemplo, una fuente láser, en una porción localizada de la estructura compuesta o en el conjunto de la estructura compuesta, de manera que se genere en la porción localizada, o en el conjunto de la estructura, una elevación de la temperatura, de lo que se obtiene una modificación de la permitividad eléctrica compleja de las cargas activas en esta porción localizada o en el conjunto de la estructura compuesta.

40

[0040] Una orden mecánica comprende la aplicación de una restricción mecánica, en compresión o en tracción, a una porción localizada o al conjunto de la estructura compuesta, de lo que se obtiene una modificación de la permitividad eléctrica compleja de las cargas activas en esta porción localizada o en el conjunto de la estructura compuesta.

45

[0041] Si el material ferroeléctrico es también ferromagnético (material multiferroico), las características magnéticas de la estructura compuesta son también modificables mediante la aplicación de una orden magnética.

50 **[0042]** De manera general, la orden es aplicada por un dispositivo de control, que está configurado para aplicar una orden eléctrica, térmica, mecánica, óptica y/o magnética a la estructura, a la porción de la estructura compuesta que contiene las cargas activas, o a una parte seleccionada de la estructura compuesta.

[0043] El uso de una orden térmica está adaptado más en particular para controlar las características dieléctricas globales de la estructura compuesta, mientras que el uso de una orden óptica o eléctrica está adaptado en particular para hacer variar localmente las características dieléctricas de la estructura compuesta.

55

[0044] Según una primera realización, ilustrada esquemáticamente en la Figura 1, la estructura compuesta 1 comprende un sustrato compuesto 3 hecho de un material compuesto monolítico.

60

[0045] Este material compuesto monolítico comprende una resina 5 de impregnación, que forma la matriz del material compuesto, y un conjunto de refuerzos fibrosos 7, que aseguran el refuerzo mecánico del sustrato compuesto.

[0046] La resina 5 es preferentemente una resina orgánica, termoendurecible o termoplástica, por ejemplo, una resina polimérica tal como una resina epoxídica, una resina de poliéster, éster de vinilo, etc.

65

[0047] Los refuerzos 7 están hechos de un material orgánico o inorgánico. Se trata por ejemplo de fibras de vidrio o de carbono.

5 **[0048]** La estructura compuesta 1 comprende además una pluralidad de cargas activas 9 que están dispersas en el sustrato compuesto 3. Preferentemente, las cargas activas 9 están dispersas, en forma de polvo, en la resina 5 de impregnación. Las cargas activas 9 son introducidas por ejemplo por mezcla en la resina antes de su endurecimiento.

10 **[0049]** La tasa de cargas activas dispersas se elige de manera que se optimice la reconfigurabilidad de la estructura compuesta 1, es decir, en cantidad suficiente para permitir una modificación significativa de las características dieléctricas de la estructura compuesta 1, a la vez que se conservan en la resina sus prestaciones mecánicas y sobre todo su aptitud de servir de matriz de impregnación en los refuerzos fibrosos 7.

15 **[0050]** Preferentemente, la tasa de carga, expresada en porcentaje en masa en la matriz de resina, está comprendida entre el 50% y el 90%.

[0051] Una disminución de la tasa de carga en cargas activas induce una disminución de las propiedades de reconfigurabilidad de la estructura compuesta que comprende estas cargas, mientras que un aumento de esta tasa de carga puede inducir una fragilización de la estructura compuesta y hacerla más difícil de realizar.

[0052] Como variante, las cargas activas están dispersas en forma de polvo en los refuerzos 7.

25 **[0053]** Según una segunda realización, ilustrada de manera general en la Figura 2, la estructura compuesta 11 comprende un sustrato compuesto de tipo sándwich 13.

[0054] El sustrato compuesto de tipo sándwich 13 comprende un alma 15 interpuesta entre dos revestimientos 17.

30 **[0055]** El alma 15 está hecha por ejemplo de un material expandido o espuma, que es por ejemplo una espuma de polietersulfona, policloruro de vinilo, poliuretano, polietileno, de poliestireno o polimetacrilimida.

[0056] Según otro ejemplo, el alma 15 está hecha de un material que presenta una estructura alveolar de tipo nido de abeja, comprendiendo esta estructura alveolar paredes transversales que delimitan una pluralidad de alvéolos.
35 Estos alvéolos son por ejemplo pasantes, es decir, desembocan transversalmente a una y otra parte del alma 15. La estructura alveolar está hecha por ejemplo de aluminio de un material termoendurecible o termoplástico tal como polipropileno, o incluso de papel de aramida.

40 **[0057]** Cada revestimiento 17 está hecho de un material rígido, por ejemplo, de un material compuesto monolítico tal como se describe en referencia a la primera realización, que comprende una resina de impregnación y un conjunto de refuerzos fibrosos.

[0058] La estructura compuesta 11 comprende una pluralidad de cargas activas que están dispersas en el alma 15 y/o en al menos uno de los revestimientos 17.

45 **[0059]** En una primera variante de esta segunda realización, el alma 15 está hecha de un material que presenta una estructura alveolar de tipo nido de abeja, y las cargas activas están dispersas en el alma 15, en particular en al menos una parte de los alvéolos.

50 **[0060]** Así, al menos un primer conjunto de alvéolos, es decir, una parte de los alvéolos, comprende cargas activas.

[0061] Por ejemplo, las cargas activas se introducen en los alvéolos en forma de polvo de material ferroeléctrico. En este caso, el polvo formado por cargas activas se introduce directamente en los alvéolos.

55 **[0062]** Como alternativa, las cargas activas se introducen en los alvéolos en forma de polvo después de sinterización (cerámica).

60 **[0063]** Las cargas activas también pueden estar dispersas en una resina orgánica o en un material expandido introducidos en los alvéolos. Especialmente, cuando las cargas activas están dispersas en una resina orgánica, como se describe anteriormente, la tasa de carga en cargas activas en esta resina se elige de manera que optimiza la reconfigurabilidad de la estructura compuesta 11.

[0064] Los alvéolos que incluyen dichas cargas activas se seleccionan en función de la aplicación pretendida.

65

- [0065]** Se ha ilustrado así en la Figura 3, a modo de ejemplo, un alma 15 de un sustrato compuesto de tipo sándwich que comprende una pluralidad de alvéolos 19, estando las cargas activas 21 dispersas solo en un primer conjunto de alvéolos, denotados por la referencia 19', un segundo conjunto de alvéolos, denotados por la referencia 19'', que no comprenden cargas activas. La inserción de cargas activas en un primer conjunto de alvéolos solo permite una capacidad de control de la estructura únicamente en zonas precisas de esta estructura.
- [0066]** En una segunda variante de esta segunda realización, el alma 15 está hecha de un material expandido o espuma, y las cargas activas están dispersas dentro de este material expandido.
- 10 **[0067]** Las cargas activas están por ejemplo dispersas en el conjunto de la espuma que forma el alma 15. En este caso, las características dieléctricas del conjunto de la estructura compuesta 11 pueden configurarse modificando las características dieléctricas de las cargas activas. Según este ejemplo, las cargas activas se introducen por ejemplo en la espuma durante la fabricación de las mismas, o se introducen posteriormente en aberturas realizadas previamente.
- 15 **[0068]** Según otro ejemplo, las cargas activas están dispersas en una porción solamente de la espuma, de tal manera que solo pueden reconfigurarse las características dieléctricas de la porción correspondiente de la estructura compuesta 11.
- 20 **[0069]** Según este ejemplo, las cargas activas se introducen por ejemplo en el alma 15 en aberturas realizadas previamente.
- [0070]** Las cargas activas se introducen por ejemplo en forma de polvo compacto o sinterizado.
- 25 **[0071]** En una tercera variante de esta segunda realización, al menos uno de los revestimientos 17 está hecho de un material compuesto monolítico que comprende una resina de impregnación y un conjunto de refuerzos fibrosos.
- [0072]** Como se describe anteriormente en referencia a la primera realización, la resina es por ejemplo una resina orgánica, termoendurecible o termoplástica, por ejemplo, una resina polimérica tal como una resina epoxídica, una resina de poliéster, éster de vinilo, etc., y los refuerzos son por ejemplo fibras de vidrio o de carbono.
- 30 **[0073]** En esta tercera variante, la estructura compuesta 11 comprende una pluralidad de cargas activas que están dispersas en el o los revestimientos 17 hechos de un material compuesto monolítico, especialmente en la resina de impregnación y/o en los refuerzos de este o estos revestimientos, como se describe anteriormente en referencia a la primera realización.
- 35 **[0074]** Las realizaciones y variantes descritas anteriormente además pueden combinarse.
- [0075]** En particular, si el sustrato compuesto es monolítico, una primera parte de las cargas activas puede estar dispersa en la resina, y una segunda parte en los refuerzos.
- 40 **[0076]** Además, si el sustrato es un sustrato compuesto de tipo sándwich, una parte de las cargas activas puede estar dispersa en el alma del sustrato, y otra parte puede estar dispersa en uno de los revestimientos o en los dos revestimientos, especialmente en la resina y/o en los refuerzos del o de los revestimientos.
- 45 **[0077]** A modo de ejemplo, se fabricó una estructura compuesta 23 que comprende un sustrato compuesto monolítico formado por una resina epoxídica y refuerzos (no representados), y cargas activas compuestas por titanio de bario-estroncio $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, con $x=0,6$ (BST).
- 50 **[0078]** El $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, también denominado BST, presenta una temperatura de Curie T_c , que delimita la frontera entre el estado ferroeléctrico del BST ($T < T_c$) y su estado paraeléctrico ($T > T_c$) de aproximadamente 270 K. Se seleccionará la composición x de tal manera que se sitúa el valor de T_c a la temperatura media de uso del material compuesto, es decir, en el que la variación de la permitividad dieléctrica compleja será más importante. La parte real de la permitividad dieléctrica del BST, ϵ' , es máxima a la temperatura $T=T_c$. Así, una evolución de la temperatura experimentada por el material en torno a esta temperatura conllevará una fuerte evolución de las partes reales e imaginarias de su permitividad dieléctrica, ϵ' , ϵ'' , así como de la tangente de pérdidas $\tan \delta$.
- 55 **[0079]** Para fabricar la estructura compuesta, se mezcló una cerámica en estado pulverulento de BST con resina epoxídica de calidad PRIME®27 y su endurecedor asociado PRIME®20, en las proporciones en masa siguientes: 35,512 g de BST / 6,661 g de resina epoxídica / 1,865 g de endurecedor. Dichas proporciones corresponden a una proporción en masa de cargas activas en el sustrato compuesto del 80,6%, lo que corresponde al máximo de polvo que puede introducirse en la mezcla a la vez que se conserva una distribución óptima de BST dentro de la matriz orgánica.
- 60 **[0080]** En primer lugar, se mezcló la resina con el endurecedor y a continuación se introdujo el polvo de BST
- 65

en la mezcla. Después de homogeneización, se moldeó la mezcla en forma de una placa cuadrada de dimensión 50 mm x 50 mm x 2 mm. La mezcla, una vez moldeada, se dejó a temperatura ambiente durante un tiempo de 12 horas, lo que indujo la polimerización de la resina epoxídica. A continuación, se coció la resina a 65 °C durante un tiempo de 7 horas en un horno.

5

[0081] Para probar la capacidad de control térmico de la estructura así obtenida, se imprimieron una línea de cinta 25 y un soporte 27 en una superficie de la estructura compuesta, como se ilustra de manera esquemática en la Figura 4.

10 **[0082]** Se midieron las características de hiperfrecuencias de la estructura compuesta por medio de un analizador de redes, haciendo variar la temperatura de 30 °C a 200 °C por ejemplo con ayuda de un horno u otro medio que permitiera llevar la temperatura al nivel exigido.

[0083] El coeficiente de transmisión S_{21} así medido en función de la temperatura y de la frecuencia denotada por F (en GHz), expresada en decibelios (dB), se han ilustrado en la Figura 5, y en las Figuras 6 y 7 que representan más exactamente las gamas de frecuencia centradas en el primer pico y el segundo pico de resonancia respectivamente.

15 **[0084]** En estas Figuras se representa el coeficiente de transmisión S_{21} medido a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 20 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C, 110 °C, 130 °C, 160 °C y 200 °C. De manera general, el coeficiente de transmisión S_{21} , expresado en dB, en los picos primero y segundo es una función decreciente de la temperatura.

[0085] Como se ilustra en estas Figuras, se ha medido una variación de la atenuación entre 30 °C y 200 °C que puede alcanzar 12,43 dB a 4,5 GHz, y una agilidad en frecuencia de +/- 60 MHz alrededor de la frecuencia de 4,5 25 GHz.

[0086] Estos ensayos demuestran por tanto que se obtiene efectivamente una modificación significativa de las características de hiperfrecuencias de la estructura compuesta, resultante de una modificación de sus características dieléctricas, aplicando una orden térmica a la estructura compuesta.

30

[0087] La evolución térmica de las características dieléctricas, especialmente de la parte real ϵ' de la permitividad dieléctrica y de la tangente de pérdidas, se determinaron por retrosimulación. En particular, simulando la línea de microcinta en su sustrato controlable con ayuda de un programa de software de simulación electromagnética (por ejemplo, tipo CST Studio), es posible obtener los parámetros S_{ij} . Modificando las características dieléctricas del sustrato usado en la simulación, es posible comparar los parámetros S_{ij} obtenidos en simulación con los de la medida. Esta comparación permite así ascender a la permitividad dieléctrica y la tangente de pérdidas del material compuesto controlable para diferentes temperaturas. En particular, se determinó que la parte real ϵ' de la permitividad dieléctrica varía de $\epsilon'=14$ a 30 °C a $\epsilon'=15$ a 80 °C, y después de nuevo de $\epsilon'=14$ a 200 °C. La tangente de pérdidas $\tan \delta$ varía de $\tan \delta=0,04$ a 30 °C a $\tan \delta=0,09$ a 80 °C, y después a $\tan \delta=0,14$ a 200 °C.

40

[0088] Las curvas de variación del coeficiente de transmisión S_{21} a 30 °C, 80 °C y 200 °C, determinadas a partir de estos valores, están de acuerdo con las curvas medidas tal como se ilustra en las Figuras 5 a 7.

[0089] Según un segundo ejemplo, se fabricó una estructura compuesta que comprende un sustrato compuesto de tipo sándwich que comprende una estructura alveolar de tipo nido de abeja, y cargas activas compuestas por resina epoxídica cargada de polvo de titanio de bario-estroncio $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, con $x=0,6$.

[0090] La estructura alveolar 31, ilustrada en la Figura 8, está constituida por 12 x 12 alvéolos circulares de 13,4 mm de diámetro. Se llevó un alvéolo en 4 con una resina epoxídica cargada previamente al 80,6% en masa de $Ba_{0,6}Sr_{0,4}TiO_3$. Los alvéolos llenos de resina cargada en BST, denotados por la referencia 33 en la Figura 8, son disjuntos dos a dos.

[0091] La estructura alveolar así cargada está destinada a asociarse a dos revestimientos hechos de un material compuesto monolítico. No obstante, se estudiaron las características de hiperfrecuencias de la estructura alveolar cargada en ausencia de los revestimientos monolíticos, con el fin de determinar con mayor finura estas características y su evolución.

[0092] En un primer momento, se determinaron las características de hiperfrecuencias de una estructura alveolar que no comprenden ninguna carga activa, a modo de comparación, intercalando la estructura alveolar no cargada entre dos bocinas (una bocina emisora de ondas electromagnéticas y una bocina receptora), y midiendo el coeficiente de reflexión S_{11} . Este coeficiente de reflexión S_{11} , expresado en decibelios, es nulo, de manera que las ondas electromagnéticas se reflejan totalmente por medio de la estructura alveolar no cargada.

[0093] Para probar la capacidad de control térmica de la estructura así obtenida se dispusieron cuatro resistencias calefactoras 35 dispuestas en el marco de la estructura alveolar.

65

[0094] Además, se determinaron las características de hiperfrecuencias de la estructura alveolar cargada a 25 °C, y después a 75 °C (calentando la estructura alveolar por medio de las resistencias calefactoras 35), intercalando la estructura alveolar cargada entre dos bocinas (una bocina emisora de ondas electromagnéticas y una bocina receptora), y midiendo el coeficiente de reflexión S_{11} de las ondas electromagnéticas entre 2 GHz y 6 GHz.

[0095] El coeficiente de reflexión S_{11} así medido se ilustra en la Figura 9. En esta Figura, la curva A ilustra el coeficiente de reflexión S_{11} de la estructura alveolar no cargada, la curva B representa el coeficiente de reflexión S_{11} de la estructura alveolar cargada a una temperatura de 25 °C, mientras que la curva C representa el coeficiente de reflexión S_{11} de la estructura alveolar cargada a una temperatura de 75 °C.

[0096] Se constata que cuando la estructura alveolar comprende cargas activas, las ondas electromagnéticas son transmitidas parcialmente a través de la estructura alveolar.

[0097] Se observa especialmente la aparición de una ventana de frecuencias centrada en 4,05 GHz, con $S_{11} = -7,3$ dB, cuando la estructura alveolar cargada está a una temperatura de 25 °C.

[0098] Cuando la temperatura de esta estructura alveolar es elevada a 75 °C, la ventana de frecuencias se desplaza a una frecuencia más baja, centrada en 3,94 GHz, y el coeficiente de reflexión S_{11} aumenta ($S_{11} = -4,7$ dB).

[0099] Este ensayo ilustra así que la inclusión en ciertos alvéolos de la estructura alveolares permite obtener características dieléctricas de esta estructura que pueden modificarse mediante la aplicación de una orden térmica.

[0100] Dicha estructura alveolar, cuando se asocia a dos revestimientos para formar una estructura compuesta, puede así usarse como estructura activa reconfigurable en función de las características de hiperfrecuencias deseadas.

[0101] Naturalmente, dicha reconfigurabilidad podría obtenerse también aplicando a la estructura una orden eléctrica, óptica o mecánica.

[0102] Las estructuras compuestas según la invención presentan así características dieléctricas que son controlables y reconfigurables en función de la aplicación pretendida, a la vez que están adaptadas para un uso a gran escala, por ejemplo, como panel estructural, especialmente de un soporte naval, terrestre o aéreo, y a menor escala.

[0103] Además, el sobrecoste relacionado con la integración de las cargas activas en el sustrato compuesto es moderado, lo que permite conferir a un sistema que integra dicha estructura características dieléctricas reconfigurables a menor coste.

[0104] Además, la estructura compuesta según la invención conserva las características primeras del sustrato compuesto en las que están dispersas las cargas, en particular en términos de ligereza, rigidez mecánica, resistencia a la corrosión, etc.

[0105] Las estructuras compuestas según la invención aportan un carácter modulable a las prestaciones electromagnéticas de los sistemas que las integran.

[0106] En particular, las estructuras compuestas de características dieléctricas reconfigurables según la invención, asociadas a un dispositivo de control adaptado, pueden integrarse en diversos sistemas, tales como sistemas de antenas dedicados a aplicaciones de comunicaciones, especialmente navales (en edificios de superficie, arboladuras) o terrestres (en el interior de vehículos, edificios) o aeronáuticos o incluso espaciales.

[0107] Estas estructuras compuestas pueden usarse igualmente:

- como pared de radomo activo, asociado a una antena, y/o como estructura portadora, por ejemplo, una estructura portadora de una antena,
- como pared estructural de un soporte naval, terrestre o aéreo que integra una antena,
- en un distorsionador, una tarjeta electrónica, un regulador de fase, un filtro, en un radar o un goniómetro,
- como sustrato de un circuito impreso en el campo de la electrónica.

[0108] El uso de estructuras compuestas según la invención, cuyas características dieléctricas son reconfigurables, y que por tanto están activas a diferencia de las estructuras compuestas usadas generalmente, permite aportar a los sistemas que las integran nuevas funcionalidades, y permite una prolongación del tiempo de vida de estos sistemas, lo que permite especialmente adaptar estos sistemas a nuevas necesidades.

REIVINDICACIONES

1. Estructura compuesta (1; 11) de características dieléctricas reconfigurables, comprendiendo dicha estructura compuesta (1; 11) un sustrato compuesto (3; 13) y una pluralidad de cargas activas (9; 21) dispersas en
 5 dicho sustrato compuesto (3; 13), estando cada carga activa (9; 21) constituida por un material que tiene características dieléctricas modificables mediante la aplicación de una orden a dicha estructura compuesta (1; 11), dicho sustrato compuesto (13) es un sustrato compuesto de tipo sándwich que comprende al menos un alma (15) interpuesta entre dos revestimientos (17), estando al menos una parte de dichas cargas activas (21) dispersa en dicha alma (15), comprendiendo dicha alma (15) una capa de material que presenta una estructura alveolar que comprende
 10 paredes transversales que delimitan una pluralidad de alvéolos (19), estando dicha estructura compuesta (1; 11) **caracterizada porque** al menos una parte de dichas cargas activas está dispersa en al menos un primer conjunto de alvéolos (19), estando un segundo conjunto de alvéolos desprovisto de cargas activas.
- 15 2. Estructura compuesta (1; 11) según la reivindicación 1, **caracterizada porque** dicho material se elige entre:
 - la familia de los materiales piezoeléctricos, de manera que las características eléctricas pueden modificarse mediante la aplicación de una orden mecánica,
 20 - la familia de los materiales piroeléctricos, de manera que las características eléctricas pueden modificarse mediante la aplicación de una orden mecánica, térmica y/u óptica,
 - la familia de los materiales ferroeléctricos, de manera que las características eléctricas pueden modificarse mediante la aplicación de una orden mecánica, térmica, óptica y/o eléctrica.
- 25 3. Estructura compuesta (1; 11) según la reivindicación 2, **caracterizada porque** dicho material se elige entre la familia de los materiales multiferroicos.
4. Estructura compuesta (1; 11) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** dicho sustrato compuesto (3; 13) comprende al menos una capa (3; 17) en un material compuesto monolítico,
 30 incluyendo dicho material compuesto monolítico una resina (5) y un conjunto de refuerzos (7).
5. Estructura compuesta (1; 11) según la reivindicación 4, **caracterizada porque** dichas cargas activas (9; 21) están dispersas en dicha resina (5) y/o en dichos refuerzos (7) de dicha al menos una capa (3; 17).
- 35 6. Estructura compuesta (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada porque** al menos uno de dichos revestimientos (17) está hecho de un material compuesto monolítico, comprendiendo dicho material compuesto monolítico una resina y un conjunto de refuerzos, estando al menos una parte de dichas cargas activas dispersa en dicha resina y/o en dichos refuerzos.
- 40 7. Estructura compuesta (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada porque** dicha alma (15) comprende una capa hecha de un material expandido.
8. Estructura compuesta (11) según la reivindicación 7, **caracterizada porque** al menos una parte de dichas cargas activas está dispersa en dicho material expandido.
- 45 9. Estructura compuesta (1; 11) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** dicho material se elige entre la familia de las perovskitas, la familia de las ilmenitas, la familia de los pirocloros, la familia de los bronce cuadráticos, la familia de las fases de Aurivillius, estando dicho material en su caso dopado.
- 50 10. Conjunto que comprende una estructura compuesta (1; 11) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 y un dispositivo de control configurado para aplicar una orden, especialmente eléctrica, térmica, mecánica, óptica y/o magnética a dicha estructura compuesta (1; 11) con vistas a modificar las propiedades dieléctricas de dicho material.

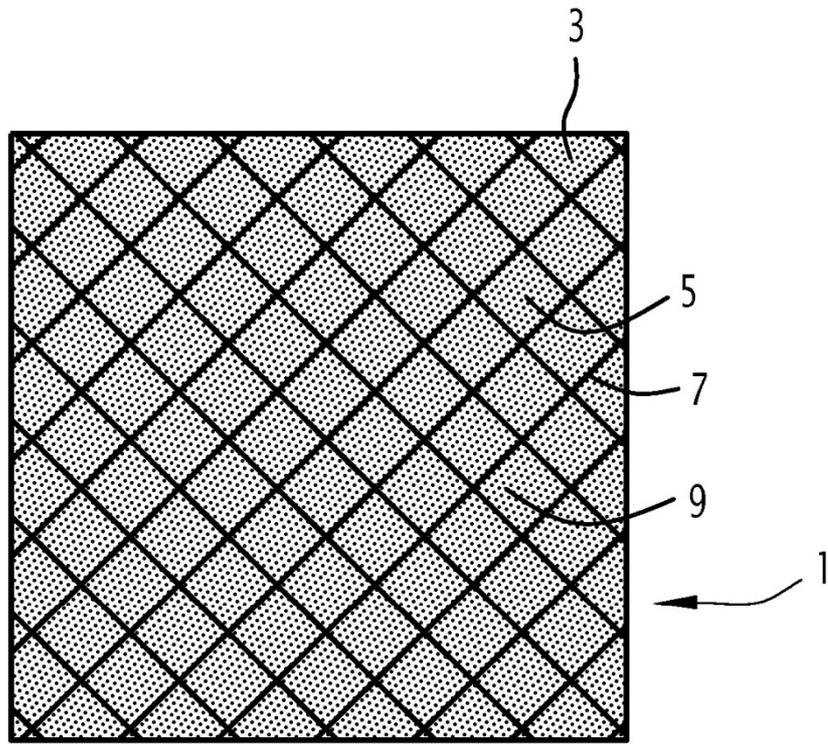


FIG.1

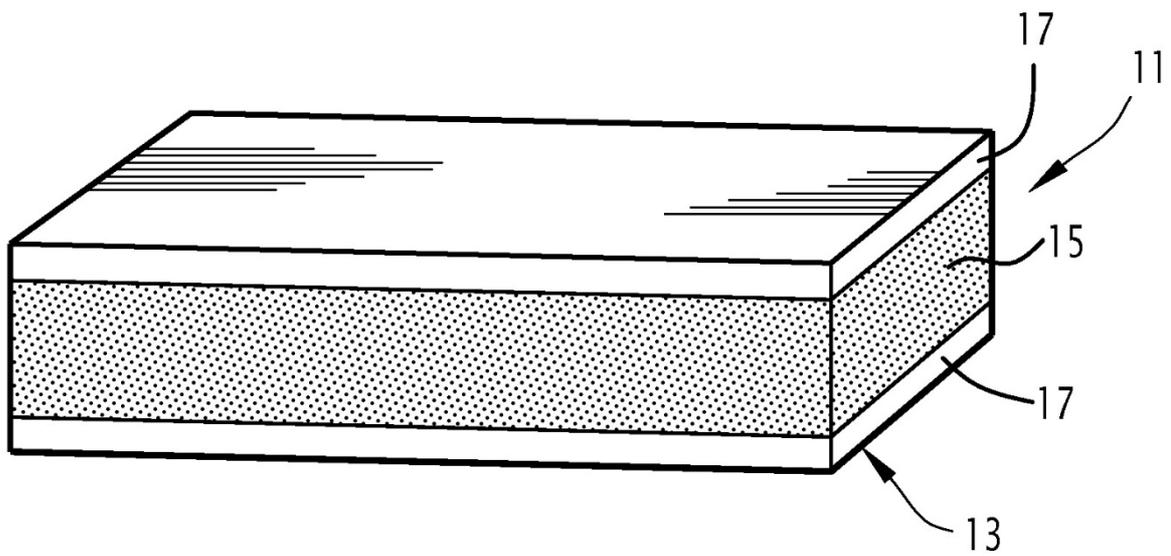


FIG.2

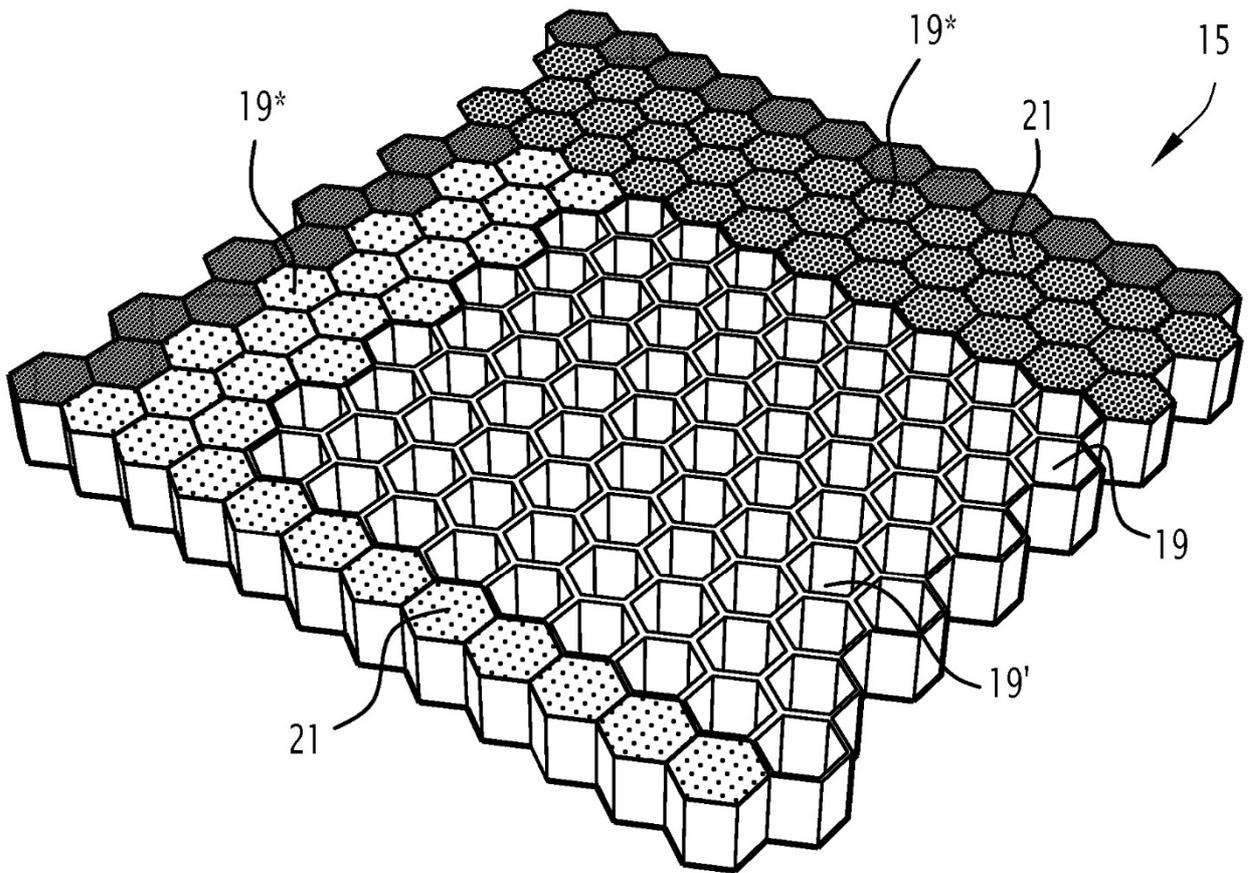


FIG.3

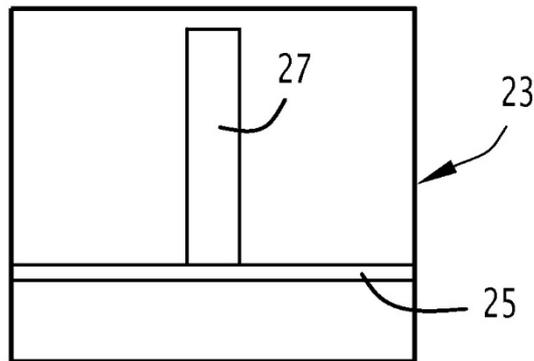


FIG.4

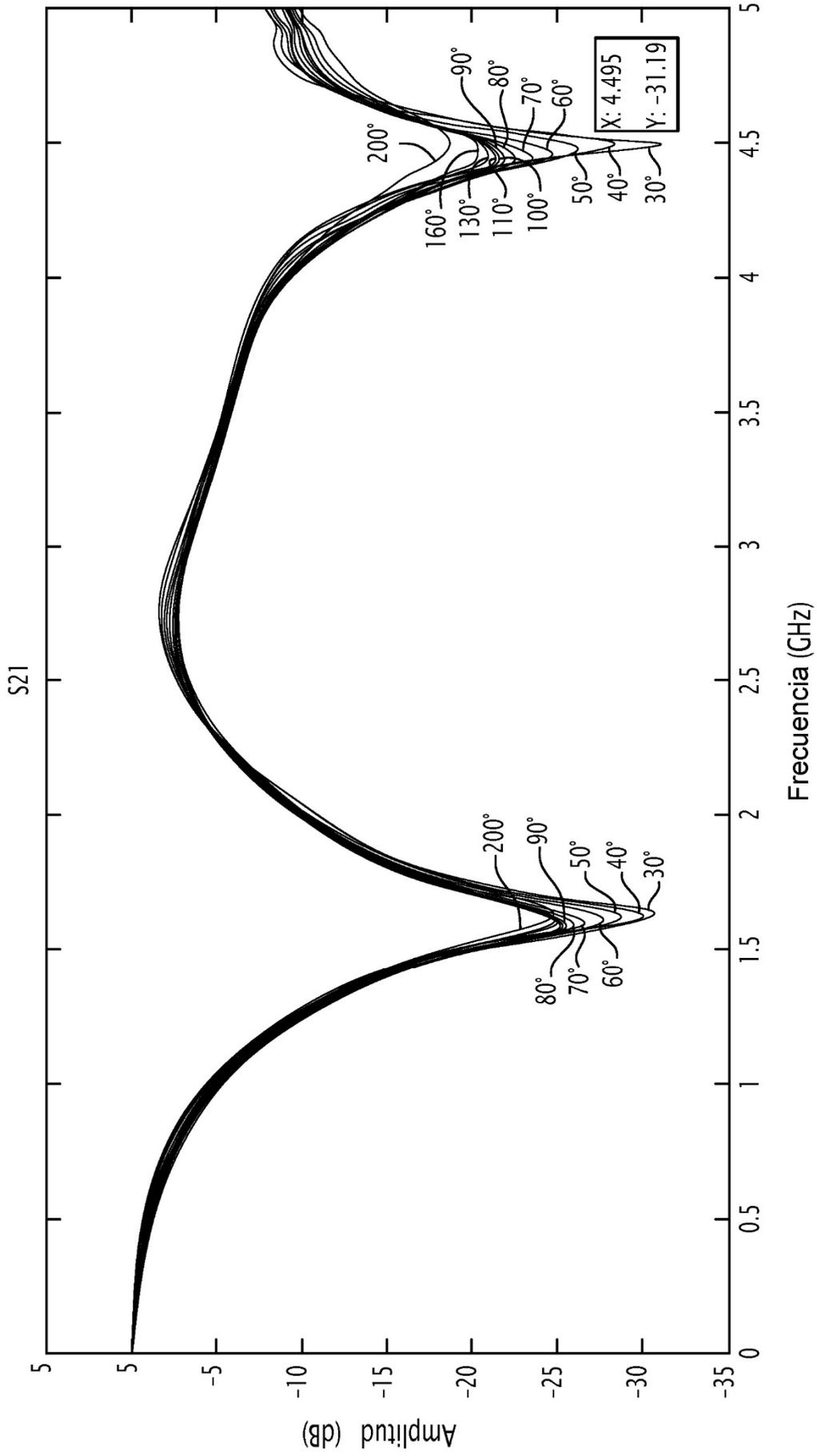


FIG.5

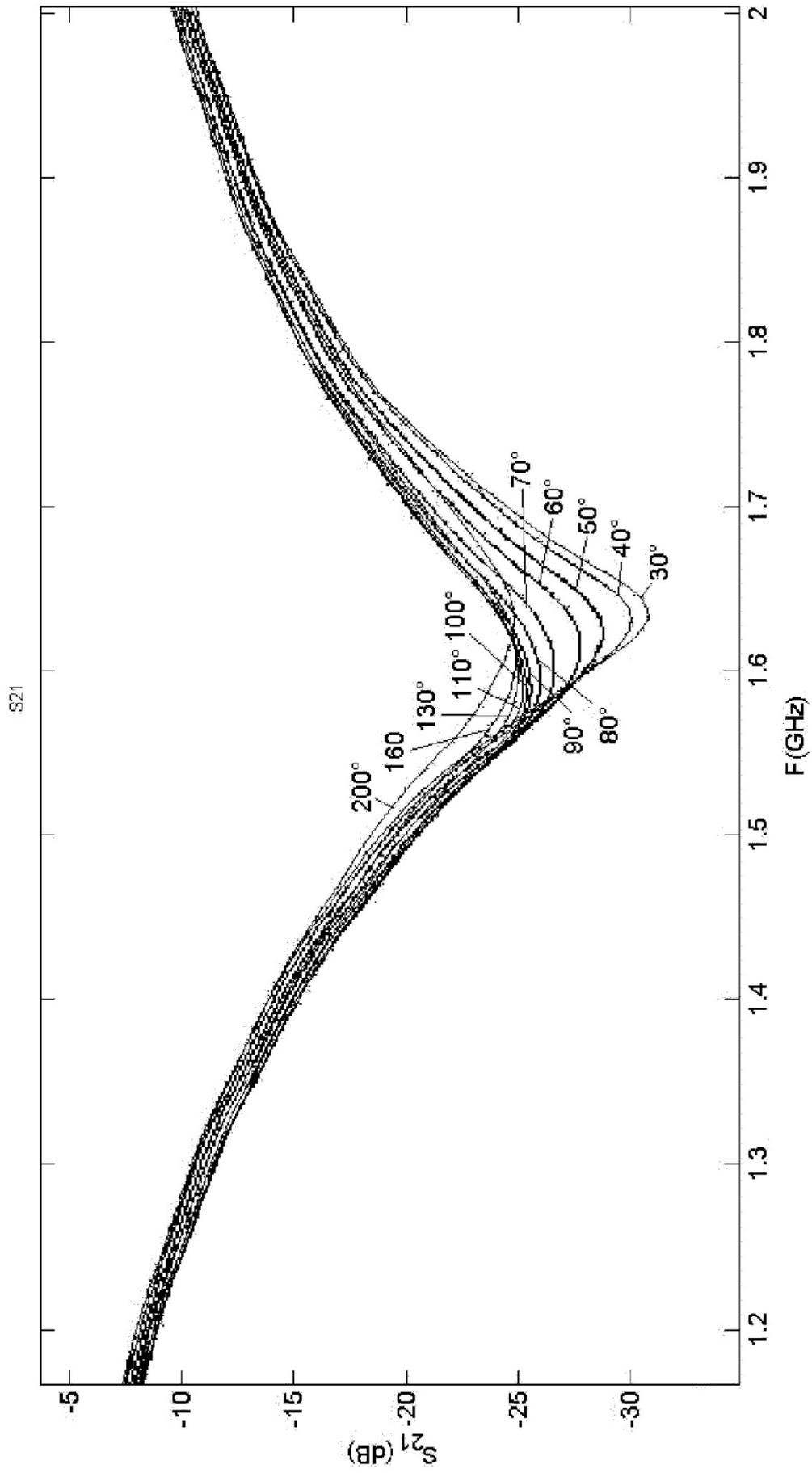


FIG.6

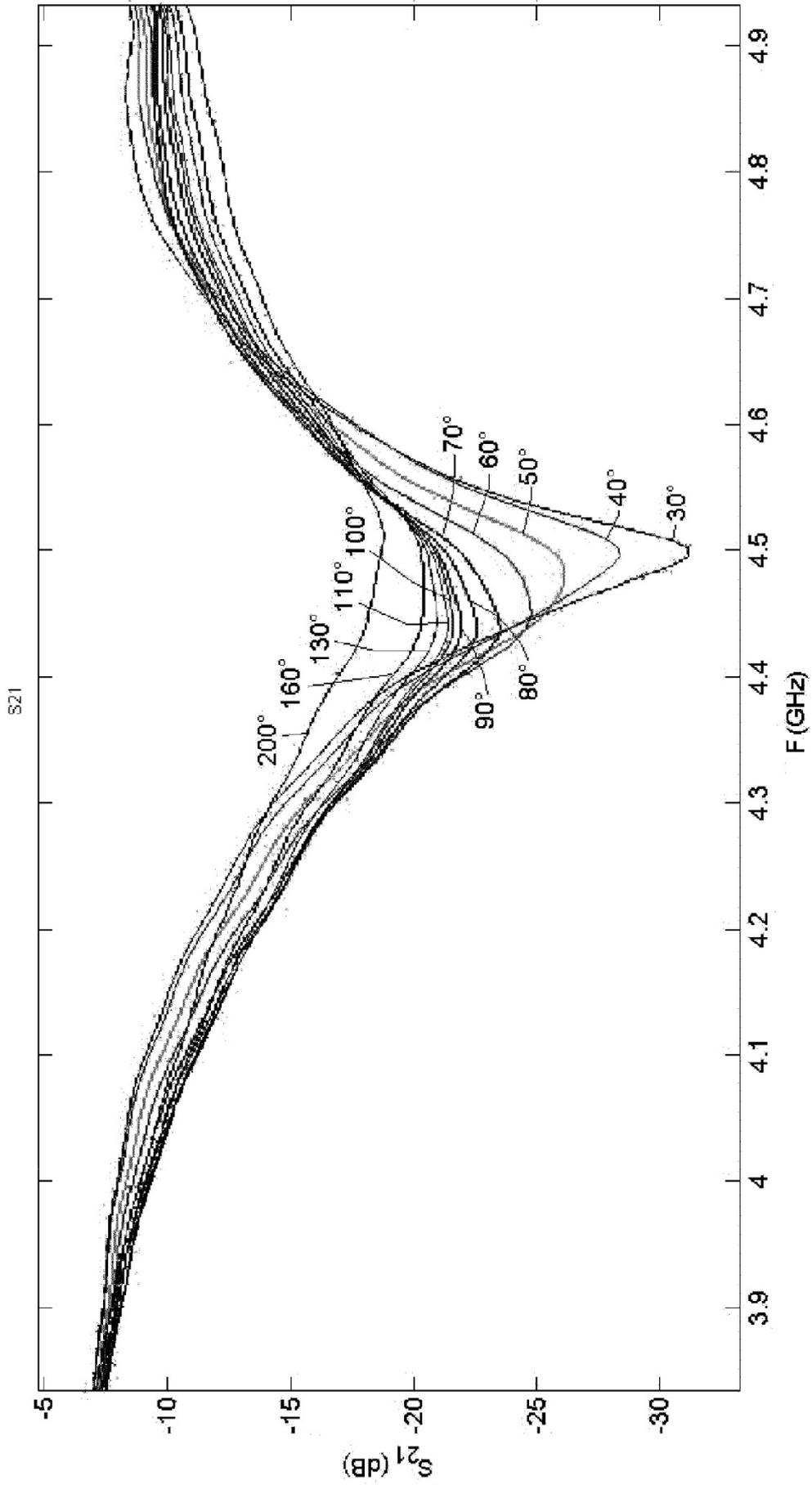


FIG.7

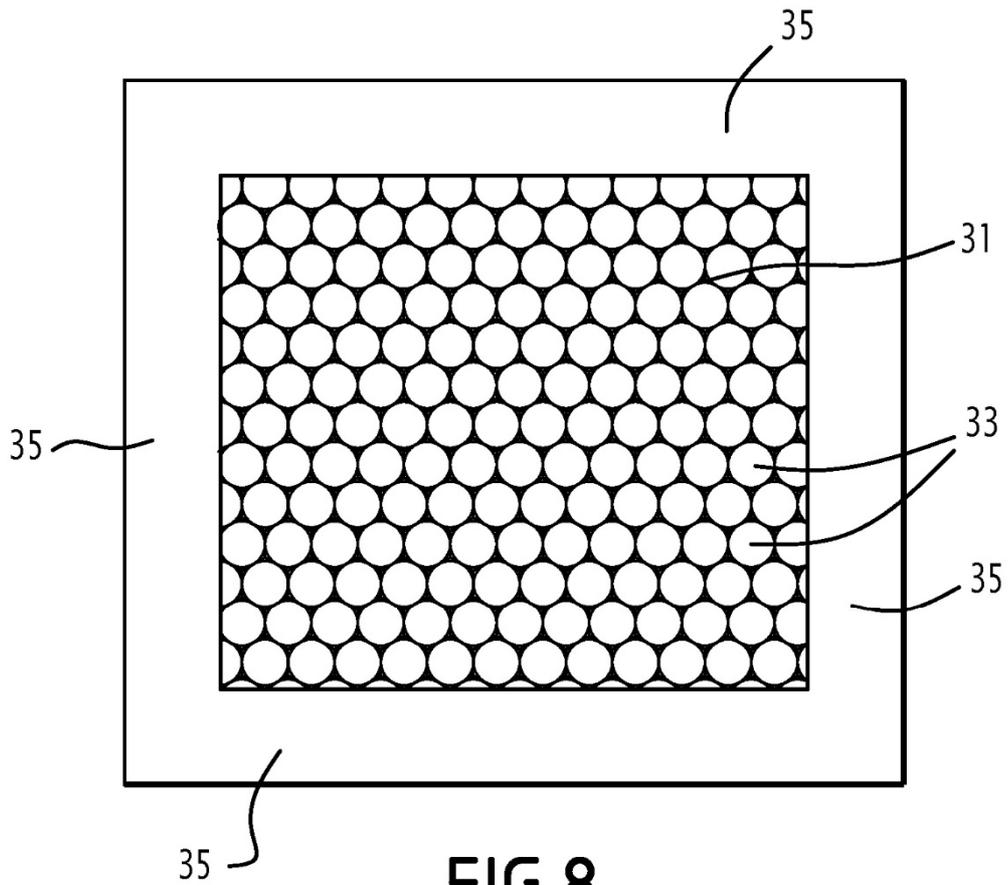


FIG.8

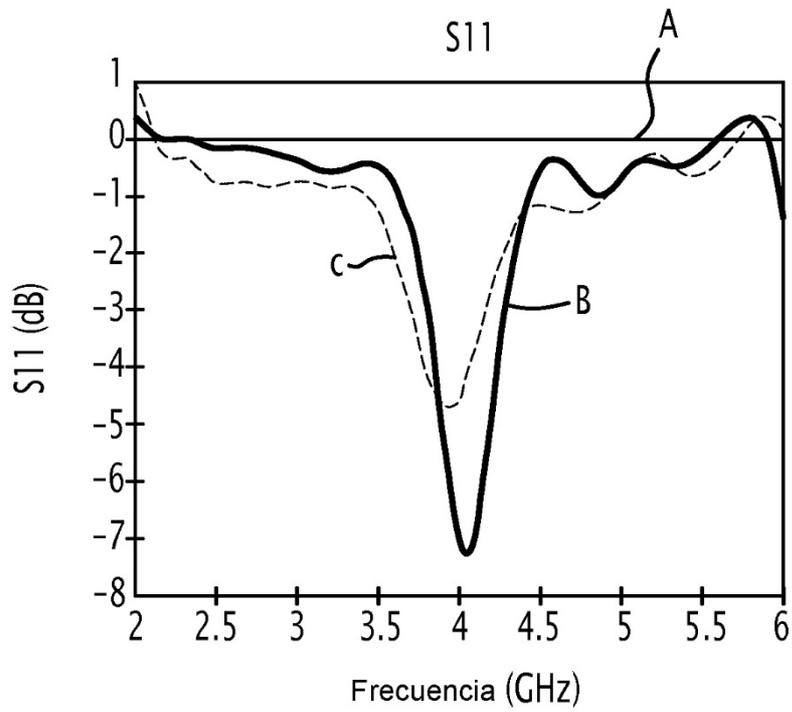


FIG.9