

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 328**

51 Int. Cl.:

**H01Q 15/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.12.2015 PCT/FR2015/053361**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.06.2016 WO16092191**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2015 E 15817487 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3231038**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica con mallas que forman una red sólida tridimensional y pieza dieléctrica así fabricada**

30 Prioridad:

**08.12.2014 FR 1462076**

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

**24.09.2020**

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES  
(CNES) (100.0%)  
2, Place Maurice Quentin  
75001 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**CAPET, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

**CURELL SUÑOL, S.L.P.**

**ES 2 784 328 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

Procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica con mallas que forman una red sólida tridimensional y pieza dieléctrica así fabricada

5

La invención se refiere a un procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica sólida que presenta por lo menos un tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$  determinado de por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ , por imbricación de varios materiales dieléctricos de los cuales por lo menos uno está en estado sólido. Se extiende a una pieza dieléctrica sólida así fabricada.

10

En algunas aplicaciones tales como las antenas miniaturizadas formadas por metamateriales para las transmisiones en el campo de las hiperfrecuencias (frecuencias superiores a 100 MHz), se busca utilizar unos sustratos dieléctricos que presenten unas características electromagnéticas determinadas de manera que el sustrato dieléctrico presente a su vez una cierta respuesta eléctrica y/o magnética a un campo eléctrico y/o magnético.

15

Se sabe que es posible controlar el valor efectivo de por lo menos una constante electromagnética relativa (permisividad dieléctrica relativa y/o permeabilidad magnética relativa) de una pieza dieléctrica por imbricación de varios materiales dieléctricos que presentan unos valores diferentes para esta constante electromagnética relativa. Este tipo de imbricación se puede realizar según diferentes procedimientos conocidos, en particular por vía química; por vía sol gel; por grabado, perforación (micro mecanizado); o por moldeo (por ejemplo véase el documento US 2014/0057072), etc.

20

Los procedimientos por vía química o sol gel no permiten controlar de manera precisa la estructura de imbricación de los materiales, y por lo tanto el valor efectivo de una constante electromagnética y su gradiente y/o su anisotropía dentro de la pieza dieléctrica. En particular, no permiten obtener unos valores de una constante electromagnética distribuidos según un tensor determinado. Además, los resultados obtenidos presentan lo más frecuentemente una gran dispersión, pudiendo la precisión sobre el valor efectivo de la constante electromagnética ser garantizada únicamente con una precisión que es como mucho del orden del 10%. Esta baja fiabilidad impide su utilización en los campos en los que los procedimientos de fabricación y/o las piezas dieléctricas deben poder ser certificados, por ejemplo en la industria espacial o aeronáutica.

25

30

Algunos procedimientos mecánicos (grabado perforación, moldeo, etc.) permiten controlar la estructura de imbricación. Sin embargo, este control es poco preciso, y necesita unas etapas largas, complejas y costosas, en particular cuando se desea obtener un gradiente importante y/o una fuerte anisotropía dentro de la pieza.

35

Además, el inventor ha determinado que podría ser ventajoso, por lo menos en ciertas aplicaciones, incorporar y/o hacer circular por lo menos un material dieléctrico en estado fluido (es decir líquido y/o gaseoso) en dicha pieza dieléctrica. Por ejemplo, en las aplicaciones espaciales, cuando uno de los materiales dieléctricos es aire atmosférico incorporado en unas células de un material dieléctrico sólido en la fabricación en suelo de la pieza dieléctrica, conviene asegurar o bien una ausencia total de desgasificación, o bien una desgasificación perfecta del conjunto de la pieza dieléctrica, incluido en su núcleo, cuando esta última está colocada en el vacío espacial. Además, la incorporación y/o la circulación de un fluido caloportador dentro de la pieza pueden permitir un control térmico eficaz y preciso. Sin embargo, dicha incorporación necesita poder tener simultáneamente una gran libertad en la geometría y las dimensiones de la estructura de imbricación, y una precisión muy grande en su realización práctica.

40

45

La publicación "3D printing of anisotropic metamaterials" C. R. Garcia *et al.*, progress in electromagnetics research letters EMW Publishing, USA, vol. 34, 2012, páginas 75-82, describe un procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica según una red uniaxial en tres dimensiones que presenta una anisotropía de permisividad dieléctrica efectiva por impresión tridimensional de policarbonato. Dicha red uniaxial ofrece solamente unas posibilidades limitadas de variaciones de la permisividad dieléctrica de la pieza. En particular, dicha red uniaxial no produce un gradiente de permisividad dieléctrica simultáneamente con una anisotropía, y no permite controlar la incorporación y/o la circulación de un fluido dentro de dicha pieza dieléctrica. Además, no permite optimizar en buenas condiciones las otras características de la pieza dieléctrica, en particular las características mecánicas y/o térmicas y/u ópticas.

50

55

La invención prevé por lo tanto paliar estos inconvenientes.

60

Prevé en particular proponer un procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica que permita un control preciso del valor de por lo menos una constante electromagnética relativa en cualquier punto de la pieza dieléctrica, y en particular con unos gradientes y/o unas anisotropías de este valor, es decir una distribución tensorial de valores de esta constante electromagnética en el volumen de la pieza dieléctrica.

65

Prevé así proponer un procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica que presenta por lo menos un tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$  determinado de por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  (es decir que presenta un

tensor de permisividad dieléctrica relativa efectiva [ $\epsilon_r$ ], y/o un tensor de permeabilidad magnética relativa efectiva [ $\mu_r$ ]) cuyos valores pueden ser determinados de manera precisa. A este respecto, prevé en particular permitir una certificación del procedimiento de fabricación y/o de las características de la pieza dieléctrica compatible con las exigencias reglamentarias, en particular en los campos de la industria espacial o aeronáutica.

5 Prevé más particularmente proponer un procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica destinada a ser utilizada en el campo de las hiperfrecuencias, es decir para unas frecuencias superiores a 100 MHz, y/o para unas longitudes de ondas comprendidas entre 3 mm y 3 m.

10 Prevé también proponer un procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica que permita obtener una incorporación -en particular una incorporación uniforme- y/o una circulación en dicha pieza de por lo menos un material dieléctrico en estado fluido que puede ser seleccionado de entre numerosas composiciones líquidas y/o gaseosas (incluido el vacío espacial).

15 Prevé proponer asimismo un procedimiento de fabricación de este tipo que permita controlar por otro lado asimismo otras características de la pieza dieléctrica, en particular unas características seleccionadas de entre el grupo de las características mecánicas, de las características térmicas, de las características ópticas, y de las características fluidicas (incorporación y/o circulación de por lo menos un fluido dentro de la pieza).

20 En todo el texto, se adopta la terminología siguiente:

- constante electromagnética: la permisividad dieléctrica o la permeabilidad magnética,

- fluido: líquido y/o gas (incluido el vacío espacial),

25 - malla: cualquier motivo geométrico poliédrico (es decir que presenta unas caras planas o del cual por lo menos una parte de las caras puede estar alabeada) y/o poligonal (es decir que presenta unos lados o aristas que son unos segmentos rectos y del cual por lo menos una parte de los lados o aristas puede ser curva) de una parte terminada de una red sólida,

30 - malla elemental: cualquier malla que permita generar por lo menos una zona de una red sólida por translación homotética de relación igual o no a 1,

- mallas periféricas: mallas situadas en la periferia de una pieza dieléctrica,

- mallas no periféricas: mallas diferentes de las mallas periféricas,

- malla poliédrica curvada: malla que tiene la forma de un poliedro curvado, es decir que tiene por lo menos una cara alabeada y/o por lo menos una arista curva,

40 - pared sólida de una red sólida tridimensional: cualquier porción sólida de la red; puede tratarse tanto de una cara maciza o calada, o de una arista más o menos gruesa.

45 La invención se refiere por lo tanto a un procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica en el que se realiza una imbricación de varios materiales dieléctricos de los cuales uno por lo menos está en estado sólido, teniendo dichos materiales dieléctricos por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  de valores diferentes,

caracterizado por que:

- se realiza dicha imbricación seleccionando:

- una estructura de imbricación de dichos materiales dieléctricos formada por una red sólida tridimensional constituida por una repetición en todas las direcciones del espacio -en particular en tres direcciones ortogonales del espacio- de mallas de uno por lo menos, en estado sólido, de dichos materiales dieléctricos,

- y unos materiales dieléctricos adaptados para permitir una fabricación de la red sólida tridimensional por impresión tridimensional de cada material dieléctrico sólido, en el que cada zona homogénea de uno de dichos materiales dieléctricos presenta, en cualquier dirección del espacio, una dimensión máxima inferior a un valor  $a_{\max} = \alpha \cdot \lambda_0$ , en la que  $\alpha$  es un número real inferior a 10 -en particular inferior a 1, en particular inferior a 0,1-, y  $\lambda_0$  es una longitud de onda de una radiación electromagnética para la cual la pieza dieléctrica debe estar adaptada,

- se fabrica la pieza dieléctrica por impresión tridimensional de la red sólida tridimensional,

65 de manera que la pieza dieléctrica presente por lo menos un tensor [ $\epsilon_r$ ], [ $\mu_r$ ] determinado de por lo menos una

constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ .

La invención se extiende asimismo a una pieza dieléctrica obtenida mediante un procedimiento según la invención. Una pieza dieléctrica según la invención está destinada a ser utilizada en una radiación de longitud de onda  $\lambda_0$ .

La invención se refiere por lo tanto a una pieza dieléctrica que comprende una imbricación de varios materiales dieléctricos de los cuales por lo menos uno está en estado sólido, y que tiene por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  de valores diferentes,

caracterizada por que dicha imbricación se realiza según una estructura de imbricación de dichos materiales dieléctricos formada por una red sólida tridimensional:

- constituida por una repetición en todas las direcciones del espacio -en particular en tres direcciones ortogonales del espacio- de mallas de uno por lo menos, en estado sólido, de dichos materiales dieléctricos,
- en la que cada zona homogénea de uno de dichos materiales dieléctricos presenta en cualquier dirección del espacio una dimensión máxima inferior a un valor  $a_{\max} = \alpha \cdot \lambda_0$ , en la que  $\alpha$  es un número real inferior a 10 -en particular inferior a 1, en particular inferior a 0,1-, y  $\lambda_0$  es una longitud de onda de una radiación electromagnética para la cual la pieza dieléctrica debe estar adaptada,
- impresa por impresión tridimensional, de manera que presente por lo menos un tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$  determinado de por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ .

Así, en un procedimiento y una pieza según la invención, la estructura de imbricación es una red sólida tridimensional enmallada, es decir un pavimento tridimensional del espacio por dichas mallas y presenta, al igual que una red sólida cristalina, en cualquier dirección del espacio, es decir en cada una de las tres direcciones x, y, z ortogonales de cualquier punto de referencia ortogonal fijo con respecto a dicha pieza, una repetición de varias mallas adyacentes. Dicho de otra manera, en cualquier dirección del espacio, la pieza según la invención presenta un número de mallas adyacentes superior a 1.

Resulta de ello que es posible obtener una pieza dieléctrica que presenta por lo menos un tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$  determinado de por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  cuyo valor en cualquier punto de la pieza, en particular en cualquier malla de la red tridimensional, puede ser seleccionado y controlado de manera precisa, incluido presentando por lo menos un gradiente y/o una anisotropía. Además, resulta que es posible conferir a esta pieza dieléctrica otras características, en particular unas características seleccionadas de entre el grupo de las características mecánicas, de las características térmicas, de las características ópticas, y de las características fluidicas (incorporación y/o circulación de por lo menos un fluido dentro de la pieza). El inventor ha determinado en efecto que con dicha red sólida tridimensional, existen numerosas estructuras de imbricación diferentes que presentan todas las mismas propiedades electromagnéticas, es decir por lo menos un mismo tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$ , incluso unos tensores  $[\epsilon_r]$  de permisividad dieléctrica y  $[\mu_r]$  de permeabilidad magnética idénticos, y que es posible seleccionar y dimensionar una estructura de imbricación en función de dichas otras características deseadas para la pieza según la invención.

En particular, ventajosamente, un procedimiento según la invención presenta las etapas sucesivas siguientes:

- una etapa en la que se selecciona por lo menos un tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$  de por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ ,
- una etapa en la que se selecciona por lo menos un material dieléctrico en estado sólido y por lo menos un material dieléctrico en estado fluido constitutivos de la pieza dieléctrica a fabricar, presentando cada materia dieléctrico un valor conocido  $\epsilon_{ri}$ ,  $\mu_{ri}$  de por lo menos una constante electromagnética relativa, siendo los valores conocidos  $\epsilon_{ri}$ ,  $\mu_{ri}$  diferentes para los diferentes materiales dieléctricos y seleccionados de manera que se pueda obtener cada valor de cada tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$  de dicha por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  por imbricación de los diferentes materiales dieléctricos,
- una etapa en la que se selecciona dicho valor  $a_{\max}$ , y por lo menos una red sólida tridimensional que presenta unas proporciones de los diferentes materiales dieléctricos constitutivos de la pieza dieléctrica adaptadas para procurar cada valor de cada tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$  de dicha por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ ,
- una etapa en la que se seleccionan otras características de la pieza dieléctrica -en particular unas características seleccionadas de entre el grupo de las características mecánicas, de las características térmicas, de las características ópticas y de las características fluidicas (incorporación y/o circulación de por lo menos un fluido dentro de la pieza)-,

- una etapa en la que se selecciona la geometría y la topología de dicha red sólida tridimensional que permite obtener dichas otras características.

5 Se fabrica a continuación la pieza dieléctrica por impresión tridimensional de esta red sólida tridimensional. Se puede incorporar después un fluido en dicha red sólida tridimensional.

10 Por otro lado, ventajosamente y según la invención, se selecciona por lo menos uno de los materiales dieléctricos en estado fluido. La red sólida tridimensional incorpora cada material dieléctrico en estado fluido en sus mallas. Se selecciona la red sólida tridimensional y los materiales dieléctricos para permitir la incorporación de cada material dieléctrico fluido en las mallas de la red sólida tridimensional. Esta incorporación se puede realizar cuando tiene lugar la impresión tridimensional y/o en una etapa ulterior de incorporación.

15 Ventajosamente y según la invención, se selecciona por lo menos uno de los materiales dieléctricos en estado fluido, y una red sólida tridimensional que tiene por lo menos una malla abierta en por lo menos dos direcciones diferentes que forman entre sí un ángulo no nulo diferente de  $180^\circ$ . De esta manera, un circuito no lineal de fluido(s) puede ser creado dentro de la pieza dieléctrica. Se ha constatado que el hecho de prever unas aberturas de las mallas de una red sólida tridimensional según por lo menos dos direcciones distintas no colineales del espacio permite organizar una circulación de fluido dentro de por lo menos una parte de esta red sólida tridimensional. Dicha circulación permite incorporar uno o varios fluidos dentro de por lo menos una parte de la red sólida tridimensional, de manera uniforme, para la fabricación de la pieza dieléctrica. Permite además prever una circulación de fluido(s) a través y/o dentro de por lo menos una parte de la red sólida tridimensional cuando tiene lugar la utilización de la pieza. Puede tratarse por ejemplo (lista no limitativa) de fluidos caloportadores, de líquidos conductores, de electrolitos, de cristales líquidos, de gases ionizados (plasmas), etc.

20 Se debe observar que la invención permite también en particular hacer variar las propiedades de por lo menos dicho fluido, y por lo tanto de la pieza dieléctrica, en el tiempo.

30 En algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, se selecciona por lo menos uno de los materiales dieléctricos en estado fluido, y una red sólida tridimensional de la cual todas las mallas no periféricas están abiertas en por lo menos dos direcciones diferentes del espacio formando entre sí un ángulo no nulo diferente de  $180^\circ$ .

35 En otros modos de realización, ventajosamente y según la invención, sólo una parte de las mallas no periféricas de dicha red sólida tridimensional está abierta en por lo menos dos direcciones diferentes no colineales del espacio (formando entre sí un ángulo no nulo diferente de  $180^\circ$ ). Se puede así definir por ejemplo por lo menos un circuito interno, en bucle o no, de circulación de fluido en una pieza según la invención. Una cara abierta es poligonal en el sentido definido anteriormente.

40 En algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, se selecciona una red sólida tridimensional de la cual todas las mallas no periféricas tienen un mismo motivo geométrico, incluso son idénticas (mismo motivo geométrico y mismas dimensiones), que corresponde a una malla elemental de la red sólida tridimensional. Esta malla elemental es a su vez tridimensional, es decir está repetida por translación homotética de relación igual o no a 1 en cada una de las tres dimensiones del espacio, es decir en cualquier dirección del espacio, por lo tanto en cada una de las tres direcciones de cualquier punto de referencia ortogonal fijo con respecto a la pieza. La red sólida tridimensional (y la pieza según la invención) resulta por lo tanto de un pavimento tridimensional del espacio a partir de una malla elemental, que es por lo tanto seleccionada de entre el grupo de las mallas elementales aptas para generar un pavimento tridimensional del espacio.

50 En otros modos de realización, ventajosamente y según la invención, las mallas no periféricas de dicha red sólida tridimensional no todas son idénticas, o no todas tienen un mismo motivo geométrico. Por ejemplo, la red puede estar formada por una pluralidad de sub-redes yuxtapuestas formadas cada una por mallas no periféricas de igual motivo geométrico.

55 En algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, se selecciona una red sólida tridimensional de entre el grupo formado de las redes que tienen unas mallas que presentan unas paredes sólidas dispuestas incluidas en caras de mallas poliédricas rectas y unas redes que presentan unas paredes sólidas dispuestas incluidas en unas caras de mallas poliédricas curvadas.

60 En particular, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, dicha red sólida tridimensional se selecciona de entre el grupo formado por las redes de mallas hexaédricas -en particular paralelepípedicas, en particular cúbicas- regulares con caras abiertas, por las redes de mallas hexaédricas -en particular paralelepípedicas, en particular cúbicas- regulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas hexaédricas -en particular paralelepípedicas, en particular cúbicas- irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas hexaédricas -en particular paralelepípedicas, en particular cúbicas- irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas tetraédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas tetraédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas tetraédricas irregulares de

caras abiertas, por las redes de mallas tetraédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas octaédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas octaédricas regulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas octaédricas irregulares de cara abiertas, por las redes de mallas octaédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas hexaédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas hexaédricas regulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas hexaédricas irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas hexaédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas dodecaédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas dodecaédricas irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas dodecaédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas icosaédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas isosaédricas regulares que tienen ciertas caras cerradas, por las redes de mallas icosaédricas irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas icosaédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por sus variantes curvadas y por sus combinaciones. Se pueden utilizar otras redes sólidas tridimensionales.

Por otro lado, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, la red sólida tridimensional comprende por lo menos una malla abierta en por lo menos tres direcciones diferentes no colineales -en particular tres direcciones ortogonales entre sí-. En particular, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, cada malla abierta de dicha red sólida tridimensional está abierta en por lo menos tres direcciones diferentes no colineales -en particular tres direcciones ortogonales entre sí-. De esta manera, por lo menos puede circular un fluido en estas tres direcciones a través y/o dentro de la pieza.

En algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, se selecciona una red sólida tridimensional de entre el grupo formado por las redes que tienen unas mallas que presentan unas aberturas en cada una de las caras de mallas poliédricas.

Por otro lado, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, cada abertura de cada cara de una malla poliédrica de la red sólida tridimensional presenta un área superior al área total de la cara que la incorpora. Así, se favorece la circulación de fluido a través de estas aberturas. Las paredes sólidas están dimensionadas para respetar las características mecánicas mínimas deseadas para la pieza.

Por otro lado, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, a título de materiales dieléctricos, se selecciona el aire y un material dieléctrico sólido susceptible de ser impreso por impresión tridimensional según dicha red sólida tridimensional. La estructura de imbricación comprende así una red sólida tridimensional de un material dieléctrico sólido susceptible de ser impreso por impresión tridimensional cuyas mallas incorporan unas células de aire y están abiertas en por lo menos dos direcciones distintas -en particular en tres direcciones ortogonales y/o sobre cada una de las caras de estas mallas-. Nada impide evidentemente prever otros materiales dieléctricos, como variante o en combinación.

Por otro lado, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, uno por lo menos de dichos materiales dieléctricos en estado sólido se selecciona de entre el grupo formado por los óxidos metálicos, por los carburos, por los boruros, por los nitruros, por los fluoruros, por los siliciuros, por los titanatos, por los sulfuros, por los polímeros sintéticos y por sus mezclas. Nada impide evidentemente prever otros materiales dieléctricos, como variante o en combinación.

Por otro lado, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, se utiliza una impresión tridimensional seleccionada de entre el grupo formado por la fabricación aditiva (AM), por la fabricación aditiva en capas (ALM), por la fusión láser selectiva (SLM), por la sinterización láser selectiva (SLS), por la sinterización selectiva en caliente (SHS), por el moldeado por depósito fundido (FDM o DIW), por el moldeado con chorros múltiples (MJM), por la estereolitografía (SLA), por fabricación de objetos laminados (LOM) y por la formación de imágenes por transferencia de película (FTI).

Por otro lado, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, dicha estructura de imbricación está dispuesta de manera que cada zona homogénea de uno de dichos materiales dieléctricos presente en cualquier dirección del espacio una dimensión máxima inferior a un valor  $a_{max} = \alpha \cdot \lambda_0$ , en la que  $\alpha$  es un número real inferior a 10 -en particular inferior a 1, en particular inferior a 0,1-, y  $\lambda_0$  es la longitud de onda de una radiación electromagnética para la cual una pieza dieléctrica según la invención está adaptada. Además, la pieza dieléctrica presenta una dimensión en cualquier dirección del espacio que es superior a este valor  $a_{max}$ .

Dicho de otra manera, para una frecuencia de valor medio predeterminada  $f_0$ .

$$a_{max} = \alpha \cdot C / (n \cdot f_0)$$

en la que n es el índice de un medio en el cual la pieza dieléctrica está destinada a ser utilizada, y C es la velocidad de la luz en el vacío.

En particular, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, estando  $\lambda_0$  comprendido entre 3 mm y 3 m,  $a_{\max}$  está comprendida entre 50  $\mu\text{m}$  y 50 cm.

Así, en algunos modos de realización de un procedimiento según la invención, se selecciona una estructura de imbricación de los materiales dieléctricos según una red sólida tridimensional:

- adaptada para permitir una fabricación de la pieza dieléctrica por impresión tridimensional,
- que forma una distribución espacial de los materiales dieléctricos adaptada para obtener un tensor de permisividad dieléctrica relativa efectiva  $[\epsilon_r]$  y/o un tensor de permeabilidad magnética relativa efectiva  $[\mu_r]$ ,
- en el que cada zona homogénea de uno de dichos materiales dieléctricos presenta, para una longitud de onda predeterminada  $\lambda_0$  en cualquier dirección del espacio una dimensión máxima inferior a  $a_{\max} = \alpha \cdot \lambda_0$ , en la que  $\alpha$  es un número real inferior a 10, -en particular inferior a 1, en particular inferior a 0,1-

Así, la invención permite obtener una pieza dieléctrica que presenta un tensor de permisividad dieléctrica relativa efectiva  $[\epsilon_r]$  y/o un tensor de permeabilidad magnética relativa efectiva  $[\mu_r]$  que puede(n) ser determinado(s) y de la cual otras características, en particular unas características seleccionadas de entre el grupo de las características mecánicas, de las características térmicas, de las características ópticas, y de las características fluidicas (incorporación y/o circulación de por lo menos un fluido dentro de la pieza) pueden ser asimismo controladas y seleccionadas de manera precisa. La invención permite en particular obtener una pieza dieléctrica que incorpora por lo menos un fluido dieléctrico de manera controlada de manera precisa, que puede ser uniforme en por lo menos una parte de la pieza, que forma un circuito de circulación y/o de recinto de cada fluido dieléctrico, mientras.

Una pieza dieléctrica según la invención puede, por otro lado, presentar unas paredes periféricas totalmente cerradas y herméticas para cada material dieléctrico fluido que contiene; o por el contrario presentar unas paredes periféricas por lo menos parcialmente abiertas que permiten la circulación de por lo menos un material dieléctrico fluido a través de la pieza dieléctrica; incluso presentar unas paredes periféricas totalmente abiertas. Cada material dieléctrico en estado fluido puede ser incorporado dentro de la red sólida tridimensional, en particular por aspiración, inyección (en particular inyección al vacío), bombeo, etc.

La invención permite también en particular controlar de manera precisa las características mecánicas y/o las características térmicas y/o las características ópticas y/o las características dieléctricas y/o las características magnéticas de una pieza dieléctrica.

Las características mecánicas están determinadas por las de la red sólida tridimensional y la elección de cada material dieléctrico sólido.

Las características térmicas son determinadas por la de cada uno de los materiales dieléctricos que constituyen la pieza dieléctrica según la invención, y en particular por una elección apropiada de por lo menos un material dieléctrico en estado fluido.

Las características ópticas están determinadas por la elección de las propiedades ópticas de cada uno de los materiales dieléctricos constitutivos de la pieza según la invención.

Las características dieléctricas efectivas están determinadas por la elección de las características dieléctricas de cada uno de los materiales dieléctricos constitutivos de la pieza según la invención, y por la elección de la estructura de imbricación de estos materiales dieléctricos.

Se debe observar en particular a este respecto que el hecho de prever unas aberturas de área importante en la estructura de imbricación puede implicar que la teoría de los materiales heterogéneos efectivos de Maxwell Garnett no procura una evaluación fiable del tensor de permisividad dieléctrica relativa efectiva, si las condiciones de aplicación de esta teoría no se cumplen. En este caso, se pueden utilizar otras técnicas de evaluación, como por ejemplo la descrita en "Electromagnetic parameter retrieval from inhomogeneous metamaterials", D. R. Smith *et al.*, Phys. Rev. E 71, 036617, 2005.

Las características magnéticas efectivas están determinadas por la elección de la permeabilidad magnética de cada uno de los materiales dieléctricos constitutivos de la pieza según la invención, por la elección de la estructura de imbricación de estos materiales dieléctricos.

Una pieza dieléctrica según la invención puede servir de emisor y/o de receptor de un campo electromagnético y/o eléctrico y/o magnético. Puede ser utilizada en particular ventajosamente en el campo de las hiperfrecuencias (frecuencias superiores a 100 MHz, en particular comprendidas entre 1 GHz y 10 GHz), por ejemplo (lista no limitativa) a título de:

- sustrato (abarcando este término también los sustratos de recubrimiento denominados “superestratos”) de antena,
- lente dieléctrica,
- radomo,
- sustrato o aislante para circuito eléctrico de hiperfrecuencia,
- resonador dieléctrico en un filtro de resonador dieléctrico.

La invención se refiere asimismo a un procedimiento de fabricación y a una pieza dieléctrica y a sus aplicaciones caracterizadas en combinación por la totalidad o parte de las características mencionadas anteriormente o a continuación.

Otros objetivos, características y ventajas de la invención aparecerán con la lectura de la descripción siguiente dada a título no limitativo y que se refiere a las figuras adjuntas en las que:

- la figura 1 es un esquema sinóptico que ilustra las principales etapas de un procedimiento según la invención,
- las figuras 2 a 10 son unos esquemas en perspectiva que ilustran diferentes ejemplos de malla elemental de una red sólida tridimensional de una pieza dieléctrica según la invención,
- las figuras 11 a 15 son unos esquemas en perspectiva que ilustran diferentes modos de realización de redes sólidas tridimensionales de una pieza dieléctrica según la invención,
- las figuras 16 y 17 son unos esquemas frontales y respectivamente de perfil de un ejemplo de pieza dieléctrica según la invención en forma general de disco.

En un procedimiento según la invención tal como se representa en la figura 1, en una primera etapa 11, se selecciona por lo menos un valor deseado de por lo menos una constante electromagnética relativa para una pieza dieléctrica a fabricar, y por lo menos una frecuencia  $f_0$  y/o por lo menos una longitud de onda  $\lambda_0$  de una radiación electromagnética para la cual la pieza dieléctrica debe estar adaptada.

Se puede elegir un valor deseado efectivo de por lo menos una constante electromagnética relativa, siendo este valor deseado efectivo el mismo en todos los puntos de dicha pieza dieléctrica según la invención.

En cada punto M (x, y, z) del volumen de la pieza dieléctrica, se puede seleccionar por lo menos un valor deseado de permisividad dieléctrica relativa  $\epsilon_r(x, y, z)$  y/o de permeabilidad magnética relativa  $\mu_r(x, y, z)$  apropiado para este punto. Se puede definir así un gradiente de permisividad dieléctrica relativa  $\epsilon_r(x, y, z)$  y/o de permeabilidad magnética relativa  $\mu_r(x, y, z)$ .

Además, la pieza dieléctrica puede presentar una anisotropía para por lo menos una constante electromagnética relativa. Así, en cada punto M, por lo menos un valor deseado de por lo menos una constante electromagnética relativa puede ser también dependiente de una dirección de propagación y/o de incidencia de una radiación electromagnética, de manera que por lo menos un vector  $\vec{\epsilon}_r(x, y, z)$ ,  $\vec{\mu}_r(x, y, z)$  puede ser definido para por lo menos una constante electromagnética relativa en este punto M. Los valores de los componentes de este vector pueden ser constantes para todos los puntos del volumen de la pieza dieléctrica, o por el contrario variar en el volumen de la pieza dieléctrica formando un gradiente para la constante electromagnética relativa correspondiente.

Así, se puede seleccionar un tensor de distribución espacial de por lo menos una constante electromagnética relativa (un tensor de permisividad dieléctrica efectiva  $[\epsilon_i]$  y/o un tensor de permeabilidad magnética relativa efectiva  $[\mu_i]$ ) en el volumen de la pieza dieléctrica.

En general, la radiación o campo electromagnético y/o eléctrico y/o magnético para la cual la pieza dieléctrica debe estar adaptada es de hiperfrecuencia, es decir presenta una frecuencia superior a 100 MHz.

En una segunda etapa 12, se selecciona por lo menos un material dieléctrico en estado sólido y por lo menos un material dieléctrico en estado fluido (gaseoso y/o líquido) constitutivos de la pieza dieléctrica a fabricar. Cada material dieléctrico presenta un valor conocido  $\epsilon_{ri}$ ,  $\mu_{ri}$  de la(s) constante(s) electromagnética(s) relativa(s), siendo los valores conocidos  $\epsilon_{ri}$ ,  $\mu_{ri}$  diferentes para los diferentes materiales dieléctricos y seleccionados de manera que se pueda obtener cada valor deseado -en particular cada tensor de distribución espacial de dicha por lo menos una constante electromagnética relativa- por imbricación de los diferentes materiales dieléctricos.



5 En particular, para cada constante electromagnética relativa cuyo valor efectivo se desea controlar en cualquier punto de la pieza dieléctrica, se selecciona por lo menos un primer material dieléctrico que presenta un valor conocido de esta constante electromagnética relativa inferior a cada valor deseado para esta constante electromagnética relativa, y por lo menos un segundo material dieléctrico que presenta un valor conocido de esta constante electromagnética relativa superior a cada valor deseado para esta constante electromagnética relativa. En algunos modos de realización ventajosos, se selecciona un material dieléctrico en estado fluido a título de primer material dieléctrico (es decir de valor conocido inferior a cada valor deseado), y un material dieléctrico en estado sólido a título de segundo material dieléctrico (es decir de valor conocido superior a cada valor deseado).

10 En la mayoría de las situaciones, es posible seleccionar únicamente un solo material dieléctrico en estado sólido, y un solo material dieléctrico en estado fluido, en particular en estado gaseoso, en particular aire. Nada impide no obstante seleccionar una pluralidad de materiales dieléctricos en estado sólido y/o una pluralidad de materiales dieléctricos en estado fluido, de naturalezas similares o diferentes, por ejemplo un material dieléctrico en estado gaseoso y un material dieléctrico en estado líquido.

15 Por otro lado, cada material dieléctrico en estado sólido se selecciona de manera que pueda ser impreso por impresión tridimensional según una red sólida tridimensional constituida por mallas de dicho material dieléctrico en estado sólido. Dicha red formada por mallas poliédricas y/o poligonales (en el sentido indicado anteriormente) impresa por impresión tridimensional permite controlar muy de manera precisa y muy finamente el valor efectivo de por lo menos una -en particular de cada- constante electromagnética relativa cualquier punto de la pieza dieléctrica y en cualquier dirección.

20 Además, ventajosamente, cada material dieléctrico en estado sólido se selecciona de manera que pueda ser impreso por impresión tridimensional según una red sólida tridimensional que tiene unas mallas abiertas en por lo menos dos direcciones diferentes no colineales, es decir que forman entre sí un ángulo no nulo diferente de 180°. De esta manera, una circulación de fluido (en circuito abierto o cerrado) puede ser obtenida dentro de la pieza dieléctrica.

25 En algunos modos de realización ventajosos, uno por lo menos de dichos materiales dieléctricos en estado sólido se selecciona de entre el grupo formado por las cerámicas inorgánicas (grupo de los óxidos metálicos, de los carburos, de los boruros, de los nitruros, de los fluoruros, de los siliciuros, de los titanatos, de los sulfuros y de sus mezclas), y por los polímeros sintéticos (seleccionados en particular de entre el grupo de los termoplásticos (por ejemplo de entre el grupo de los polifluorocarbonos tales como PTFE, poliamidas, FEP (Perfluoro etileno propileno), PFA (perfluoroalcoxi), de las poliolefinas tales como los polietilenos, PPO® (poli(óxido de fenileno)), de las resinas hidrocarburo, de los fotopolímeros), y por sus mezclas. Por otro lado, ventajosamente y según la invención, uno por lo menos de dichos materiales dieléctricos en estado fluido es aire atmosférico.

30 En algunos modos de realización, una pieza dieléctrica según la invención puede ser fabricada de manera que presente una envuelta externa periférica totalmente hermética que contiene cada material dieléctrico en estado fluido que queda incorporado dentro de la pieza dieléctrica sin poder escaparse de ella. Así, se puede aprisionar por lo menos una composición gaseosa y/o líquida en el interior de una pieza dieléctrica según la invención, dentro de la red sólida tridimensional formada por cada material dieléctrico en estado sólido. Dicha composición gaseosa y/o líquida se selecciona por ejemplo de entre el grupo de los fluidos caloportadores, de los líquidos conductores, de los electrolitos, de los cristales líquidos, de los gases atmosféricos, de los gases ionizados.

35 En algunos modos de realización, una pieza dieléctrica según la invención puede ser fabricada de manera que presente unas aberturas de paso periféricas para por lo menos una composición gaseosa y/o líquida que puede circular por lo menos en parte en el interior de la pieza dieléctrica a través de la red sólida tridimensional formada por cada material dieléctrico en estado sólido. En particular, la red sólida tridimensional puede ser del tipo que forma unas mallas abiertas en la periferia de la pieza dieléctrica, estando esta red sólida tridimensional dispuesta en un volumen de composición gaseosa y/o líquida que llena el interior de esta red sólida tridimensional. Por ejemplo, dicho volumen de composición gaseosa y/o líquida es el entorno atmosférico que reina alrededor de la pieza dieléctrica, por ejemplo la atmósfera terrestre o el vacío espacial.

40 En algunos modos de realización, por lo menos un material dieléctrico en estado fluido es una composición en estado líquido, en particular seleccionada de entre el grupo formado por las composiciones acuosas, por las composiciones hidroalcohólicas, por los aceites, por los disolventes, y por los cristales líquidos. En algunos modos de realización, por lo menos un material dieléctrico en estado fluido es una composición en estado gaseoso, en particular seleccionada de entre el grupo formado por los gases atmosféricos y por los gases ionizados (plasmas).

45 En una tercera etapa 13, se determinan las características de la estructura de imbricación de los diferentes materiales dieléctricos para poder obtener cada valor deseado de por lo menos una constante electromagnética relativa, es decir en particular las proporciones de los diferentes materiales dieléctricos constitutivos de la pieza dieléctrica a utilizar para obtener cada valor deseado de por lo menos una constante electromagnética relativa. Para ello, se puede utilizar en particular una teoría conocida en sí tal como la teoría de los medios efectivos

heterogéneos, por ejemplo la teoría de Maxwell Garnett (véase por ejemplo [http://en.wikipedia.org/wiki/Effective\\_medium\\_approximations](http://en.wikipedia.org/wiki/Effective_medium_approximations)) o cualquier otra teoría eventualmente aplicable a este caso.

5 En esta tercera etapa 13, se determina asimismo una dimensión máxima  $a_{\max}$  de cada zona homogénea de cada material dieléctrico en cualquier dirección del espacio, según el valor de la longitud de onda  $\lambda_0$  y/o de la frecuencia de valor medio predeterminado  $f_0$ ,

$$a_{\max} = \alpha \cdot \lambda_0 = \alpha \cdot C / (n \cdot f_0)$$

10 en la que  $\alpha$  es un número real inferior a 10 -en particular inferior a 1, en particular inferior a 0,1-,  $n$  es el índice de un medio en el que la pieza dieléctrica está destinada a ser utilizada, y  $C$  es la velocidad de la luz en el vacío. En efecto, esta dimensión máxima  $a_{\max}$  permite en particular una aplicación suficiente de la teoría de los medios efectivos heterogéneos, de manera que la pieza dieléctrica presente efectivamente unos valores efectivos de por lo menos una constante electromagnética que corresponde a la imbricación de los diferentes materiales dieléctricos. Dicho de otra manera, la pieza dieléctrica es equivalente a un material homogéneo en sus efectos frente a una radiación electromagnética.

15 En particular, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, estando  $\lambda_0$  comprendido entre 3 mm y 3 m,  $a_{\max}$  está comprendido entre 50  $\mu\text{m}$  y 50 cm.

20 En la cuarta etapa 14, se seleccionan unas características mecánicas y/o unas características térmicas y/o unas características ópticas suplementarias deseadas para la pieza dieléctrica a fabricar, teniendo en cuenta no obstante las propiedades mecánicas y/o térmicas y/u ópticas de los materiales dieléctricos seleccionados anteriormente.

25 En la quinta etapa 15, se selecciona una estructura de imbricación que, por un lado, corresponde a las proporciones y a la dimensión máxima  $a_{\max}$  previamente determinadas y, por otro lado, permite obtener las características mecánicas y/o térmicas y/u ópticas previamente seleccionadas. En particular, se selecciona la geometría y la topología de dicha red sólida tridimensional. Esta selección se puede efectuar con la ayuda de un programa de concepción asistida por ordenador que permite simular dichas características mecánicas y/o térmicas y/u ópticas.

30 Por ejemplo, dicha red sólida tridimensional se selecciona de entre el grupo formado por las redes de mallas hexaédricas, en particular paralelepípedicas -en particular cúbicas- regulares de caras abiertas, por las redes de mallas hexaédricas -en particular paralelepípedicas, en particular cúbicas- regulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas hexaédricas -en particular paralelepípedicas, en particular cúbicas- irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas hexaédricas -en particular paralelepípedicas, en particular cúbicas- irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas tetraédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas tetraédricas regulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas tetraédricas irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas tetraédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas octaédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas octaédricas regulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas octaédricas irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas octaédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas hexaédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas hexaédricas regulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas hexaédricas irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas hexaédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas dodecaédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas dodecaédricas regulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas dodecaédricas irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas dodecaédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas icosaédricas regulares de caras abiertas, por las redes de mallas icosaédricas regulares que tienen algunas caras cerradas, por las redes de mallas icosaédricas irregulares de caras abiertas, por las redes de mallas icosaédricas irregulares que tienen algunas caras cerradas, por sus variantes curvadas y por sus combinaciones. Se pueden utilizar otras redes sólidas tridimensionales.

35 Por otro lado, en algunos modos de realización, la red sólida tridimensional comprende por lo menos una malla abierta en por lo menos tres direcciones diferentes -en particular tres direcciones ortogonales entre ellas-. En particular, en algunos modos de realización, ventajosamente y según la invención, cada malla abierta de dicha red sólida tridimensional está abierta en por lo menos tres direcciones diferentes -en particular tres direcciones ortogonales entre sí-. De esta manera, por lo menos un fluido puede circular en estas tres direcciones a través y/o dentro de la pieza.

40 En la sexta etapa 16, se fabrica por impresión tridimensional la pieza dieléctrica así determinada. Para ello, se puede contemplar cualquier tecnología de impresión tridimensional, según la naturaleza de los materiales dieléctricos seleccionados y la red sólida tridimensional. Por ejemplo, se puede utilizar una impresión tridimensional seleccionada de entre el grupo (lista no limitativa) formado por la fabricación aditiva (AM), por la

fabricación aditiva en capas (ALM), por la fusión láser selectiva (SLM), por la sinterización láser selectiva (SLS), por la sinterización selectiva en caliente (SHS), por el moldeo por depósito fundido (FDM o DIW), por el moldeo con chorros múltiples (MJM), por la estereolitografía (SLA), por fabricación de objetos laminados (LOM) y por la formación de imágenes por transferencia de película (FTI).

En una séptima etapa 17 opcional, es posible incorporar por lo menos un material dieléctrico en estado fluido dentro de la red sólida tridimensional, por ejemplo por aspiración o inyección a presión. Es posible asimismo, según las aplicaciones, cerrar herméticamente la totalidad o parte de la periferia de la pieza dieléctrica por una envuelta hermética, por ejemplo por un revestimiento de una composición endurecible hermética aplicada en la periferia de la red sólida tridimensional, en particular por templado o depósito en superficie, siendo después objeto de una etapa de endurecimiento.

La figura 2 es un ejemplo de malla 20 elemental hexaédrica que puede ser utilizada para formar una red sólida tridimensional uniforme por repetición de esta malla 20 elemental formada por un material dieléctrico sólido. La malla 20 elemental es, en el ejemplo, un paralelepípedo cuyas seis caras presentan unas aberturas rectangulares, teniendo las caras opuestas unas aberturas de dimensiones idénticas y teniendo las caras adyacentes unas aberturas cuyas dimensiones a lo largo de las aristas comunes también son idénticas. Esta malla 20 elemental paralelepipedica presenta una altura  $a_1$ , una longitud  $a_2$  y una anchura  $a_3$ . La abertura de las caras 21 verticales longitudinales presenta una altura  $b_1$  y una longitud  $b_2$ . La abertura de las caras 22 verticales laterales presenta una anchura  $b_3$  y una altura  $b_4$ . La abertura de las caras 23 horizontales longitudinales presenta una anchura  $b_5$  y una longitud  $b_6$ . En el ejemplo representado,  $b_4 = b_1$ ,  $b_5 = b_3$  y  $b_6 = b_2$ . Nada impide no obstante prever unas aberturas de dimensiones diferentes entre las caras adyacentes, es decir  $b_4 \neq b_1$  y/o  $b_5 \neq b_3$  y/o  $b_6 \neq b_2$ .

La figura 11 es un ejemplo de red sólida tridimensional que puede ser obtenida de esta malla elemental paralelepipedica que, en el ejemplo, es cúbica,  $a_1 = a_2 = a_3 = a$  y  $b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = b_6 = b$ . La figura 12 es otro ejemplo de red sólida tridimensional, que difiere de la anterior por el hecho de que la malla elemental está desplazada en  $a/2$  entre dos planos adyacentes XY de mallas de la red. Las figuras 13 y 15 son otros ejemplos de red sólida tridimensional que corresponde a la malla 20 elemental de la figura 2 con unos valores diferentes de  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  y de  $b_4 = b_1$ ,  $b_5 = b_3$ , y  $b_6 = b_2$ .

La figura 3 representa otro ejemplo de malla 30 elemental hexaédrica (cúbica) de ángulos 34 truncados. La figura 4 representa otro ejemplo de malla 40 elemental similar a la figura 3 inscrita en un cubo pero en el que las caras del cubo presentan unas aristas 45 medianas cruzadas en su centro. La figura 5 representa otro ejemplo de malla 50 elemental inscrita en un cubo cuyas caras presentan unas aristas 55 medianas cruzadas en su centro y unos ángulos 54 truncados hasta los centros de las aristas principales de las caras del cubo circunscrito en la malla 50, estando estos ángulos 54 truncados formados por paredes macizas. La figura 6 representa otro ejemplo de malla 60 elemental inscrita en un cubo cuyas caras presentan dos aristas 66, 67 circulares concéntricas unidas por cuatro aristas 65 medianas que forman unos radios.

La figura 7 representa una malla 70 elemental tetraédrica. La figura 8 representa una malla 80 elemental octaédrica. La figura 9 representa una malla 90 elemental dodecaédrica. La figura 10 representa una malla 100 elemental icosaédrica. Estas diferentes mallas elementales pueden ser utilizadas para generar unas redes sólidas tridimensionales, con algunas de sus caras eventualmente macizas, con unas aberturas de dimensiones que pueden ser variables o idénticas, con unos ángulos que pueden estar truncados o no, etc.

Estas diferentes variantes geométricas y topológicas permiten hacer variar las características mecánicas y/o térmicas y/o ópticas y/o dieléctricas y/o magnéticas de la pieza dieléctrica así obtenida. Las estructuras de imbricación así formadas pueden ser fabricadas por impresión tridimensional.

Las piezas dieléctricas obtenidas están formadas por una red sólida tridimensional cuyas mallas elementales presentan unas caras abiertas según por lo menos dos direcciones distintas no colineales, lo cual permite en particular una circulación de fluido en el interior de la pieza dieléctrica.

Las figuras 16 y 17 representan un ejemplo de pieza dieléctrica según la invención en forma general de disco formado por una red del tipo de la representada en la figura 13, siendo la dirección X de la figura 13 ortogonal a la cara principal 110 del disco, comprendiendo el disco tres capas 111 de mallas idénticas de caras rectangulares abiertas, y por lo tanto cuatro niveles 112 de caras rectangulares orientadas en las direcciones Y, Z de la figura 13. La pieza comprende a la altura de cada nivel 112 de caras orientadas en las direcciones Y, Z, una arista 113 circular periférica a la que las aristas de las mallas periféricas están unidas.

Como variante no representada, es posible formar dentro de dicha pieza dieléctrica uno o varios circuitos que contienen uno o varios fluidos dieléctricos, obturando algunas de las caras de las mallas de la red. Se puede formar en particular un circuito abierto que desemboca en la periferia de la pieza dieléctrica y/o sobre una de sus caras principales para formar uno o varios puertos de entrada y/o uno o varios puertos de salida. Se puede en particular formar asimismo varios circuitos independientes aislados unos de los otros.

**Ejemplos**

5 Se evalúan las constantes electromagnéticas efectivas de redes de mallas de piezas dieléctricas según la invención, mediante el procedimiento descrito en la publicación “Electromagnetic parameter retrieval from inhomogeneous metamaterials”, D. R. Smith *et al.*, Phys. Rev. E 71, 036617, 2005.

La frecuencia de trabajo  $f_0$  es igual a 4 GHz.

10 La tabla 1 siguiente proporciona los resultados obtenidos para las redes de las figuras 11 y 13 con estructura de malla paralelepípedica de cara abierta, con una cerámica (alúmina) que tiene una permisividad relativa  $\epsilon_r = 10,6$  y una permeabilidad relativa  $\mu_r = 1$  a título de material dieléctrico sólido, y el aire  $\epsilon_r = 1$ ,  $\mu_r = 1$ , a título de material dieléctrico fluido.

15 Tabla 1

Red	Dimensiones de la malla	Permisividad efectiva	Permeabilidad efectiva
Figura 11	$a1 = 1 \text{ mm}$ $b1 = b4 = 0,738 \text{ mm}$ $a2 = 2 \text{ mm}$ $b2 = b6 = 1,5 \text{ mm}$ $a3 = 0,5 \text{ mm}$ $b3 = b5 = 0,4 \text{ mm}$	$\epsilon_r^x = 1,75$ $\epsilon_r^y = 1,75$ $\epsilon_r^z = 1,75$	$\mu_r = 1$
Figura 13	$a1 = 0,5 \text{ mm}$ $b1 = b4 = 0,48 \text{ mm}$ $a2 = 1 \text{ mm}$ $b2 = b6 = 0,738 \text{ mm}$ $a3 = 2 \text{ mm}$ $b3 = b5 = 1 \text{ mm}$	$\epsilon_r^x = 1,43$ $\epsilon_r^y = 1,44$ $\epsilon_r^z = 1,65$	$\mu_r = 1$

20 Como se puede observar en el ejemplo de la figura 11, se obtienen unos valores de constante electromagnética efectiva que son las mismas en todas las direcciones, mientras que la estructura de la red seleccionada no es isotrópica y permite en particular hacer variar las características mecánicas y/o térmicas de la pieza dieléctrica según la invención en las diferentes direcciones del espacio.

25 En el ejemplo de la figura 13, se observa que es posible obtener unos valores diferentes de la permisividad dieléctrica en las diferentes direcciones del espacio seleccionando una estructura apropiada de la red.

30 Un procedimiento de fabricación según la invención puede ser objeto de muy numerosas variantes de realización. En particular, es posible utilizar varios materiales dieléctricos en estado sólido impresos simultáneamente, formando un primer material dieléctrico una red sólida tridimensional cuyas mallas están por lo menos parcialmente llenadas por otro material dieléctrico en estado sólido. También es posible utilizar únicamente unos materiales dieléctricos en estado sólido imbricados por impresión tridimensional, formando uno por lo menos de los materiales dieléctricos en estado sólido dicha red sólida tridimensional que presenta unas mallas llenadas por lo menos por otro material dieléctrico en estado sólido.

35 Una pieza dieléctrica según la invención puede actuar como emisor y/o receptor de un campo electromagnético y/o eléctrico y/o magnético y puede ser objeto asimismo de numerosas variantes de realización y de diversas aplicaciones. En particular, puede ser utilizada ventajosamente en el campo de las hiperfrecuencias (frecuencias superiores a 100 MHz, comprendidas en particular entre 1 GHz y 10 GHz), por ejemplo (lista no limitativa) a título de:

- 40 - sustrato (abarcando este término también los sustratos de recubrimiento denominados “superestratos”) de antena,
- lente dieléctrica,
- 45 - radomo,
- sustrato o aislante para circuito eléctrico de hiperfrecuencia,
- resonador dieléctrico en un filtro de resonador dieléctrico.

50

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de una pieza dieléctrica en el que se realiza una imbricación de varios materiales dieléctricos de los cuales uno por lo menos está en estado sólido, teniendo dichos materiales dieléctricos por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  de valores diferentes, caracterizado por que:
- se realiza dicha imbricación seleccionando:
    - (15) una estructura de imbricación de dichos materiales dieléctricos formada por una red sólida tridimensional constituida por una repetición en todas las direcciones del espacio de mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) de uno por lo menos, en estado sólido, de dichos materiales dieléctricos, y en el que cada zona homogénea de uno de dichos materiales dieléctricos presenta en cualquier dirección del espacio una dimensión máxima inferior a un valor  $a_{max} = \alpha \cdot \lambda_0$ , en la que  $\alpha$  es un número real inferior a 10, y  $\lambda_0$  es una longitud de onda de una radiación electromagnética para la cual la pieza dieléctrica debe estar adaptada,
    - y (12) unos materiales dieléctricos adaptados para permitir una fabricación de la red sólida tridimensional por impresión tridimensional de cada material dieléctrico sólido,
  - se fabrica (16) la pieza dieléctrica por impresión tridimensional de la red sólida tridimensional, de manera que la pieza dieléctrica presente por lo menos un tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$  determinado de por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ .
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se selecciona por lo menos uno de los materiales dieléctricos en estado fluido, y una red sólida tridimensional que tiene por lo menos una malla (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) abierta en por lo menos dos direcciones diferentes que forman entre sí un ángulo no nulo diferente de 180°.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que se selecciona por lo menos uno de los materiales dieléctricos en estado fluido, y una red sólida tridimensional de la cual todas las mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) no periféricas están abiertas en por lo menos dos direcciones diferentes del espacio que forman entre sí un ángulo no nulo diferente de 180°.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que se selecciona una red sólida tridimensional de la cual todas las mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) no periféricas tienen un mismo motivo geométrico.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que se selecciona una red sólida tridimensional en el grupo formado por las redes que tienen unas mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) que presentan unas paredes sólidas dispuestas incluidas en unas caras de mallas poliédricas rectas y por las redes que presentan unas paredes sólidas dispuestas incluidas en unas caras de mallas poliédricas curvadas.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que se selecciona una red sólida tridimensional en el grupo formado por las redes que tienen unas mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) que presentan unas aberturas en cada una de las caras de mallas poliédricas.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que se selecciona una red sólida tridimensional en el grupo formado por las redes que tienen unas mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) que presentan unas paredes sólidas dispuestas incluidas en unas caras de mallas poliédricas y por lo menos una abertura en por lo menos dos caras distintas de las mallas poliédricas no periféricas, y por que cada abertura de cada cara de una malla poliédrica de la red sólida tridimensional presenta un área superior al área total de la cara que la incorpora.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que a título de materiales dieléctricos se selecciona el aire y un material dieléctrico sólido susceptible de ser impreso por impresión tridimensional según dicha red sólida tridimensional.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que uno por lo menos de dichos materiales dieléctricos en estado sólido se selecciona en el grupo formado por los óxidos metálicos, por los carburos, por los boruros, por los nitruros, por los fluoruros, por los siliciuros, por los titanatos, por los sulfuros, por los polímeros sintéticos y por sus mezclas.
10. Pieza dieléctrica que comprende una imbricación de varios materiales dieléctricos de los cuales uno por lo

menos está en estado sólido, y que tiene por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  de valores diferentes,

5 caracterizada por que dicha imbricación está realizada según una estructura de imbricación de dichos materiales dieléctricos formada por una red sólida tridimensional:

- constituida por una repetición en todas las direcciones del espacio de mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) de uno por lo menos, en estado sólido, de dichos materiales dieléctricos,

10 - en la que cada zona homogénea de uno de dichos materiales dieléctricos presenta en cualquier dirección del espacio una dimensión máxima inferior a un valor  $a_{\max} = \alpha \cdot \lambda_0$ , en la que  $\alpha$  es un número real inferior a 10, y  $\lambda_0$  es una longitud de onda de una radiación electromagnética para la cual la pieza dieléctrica está adaptada,

15 - impresa por impresión tridimensional,

de manera que presente por lo menos un tensor  $[\epsilon_r]$ ,  $[\mu_r]$  determinado de por lo menos una constante electromagnética relativa  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ .

20 11. Pieza según la reivindicación 10, caracterizada por que por lo menos uno de los materiales dieléctricos está en estado fluido, y por lo menos una malla (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) de dicha red sólida tridimensional está abierta en por lo menos dos direcciones diferentes que forman entre sí un ángulo no nulo diferente de 180°.

25 12. Pieza según una de las reivindicaciones 10 u 11, caracterizada por que por lo menos uno de los materiales dieléctricos está en estado fluido, y todas las mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) no periféricas de dicha red sólida tridimensional están abiertas en por lo menos dos direcciones diferentes del espacio que forman entre sí un ángulo no nulo diferente de 180°.

30 13. Pieza según una de las reivindicaciones 10 a 12, caracterizada por que todas las mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) no periféricas de dicha red sólida tridimensional tienen un mismo motivo geométrico.

35 14. Pieza según una de las reivindicaciones 10 a 13, caracterizada por que dicha red sólida tridimensional se selecciona en el grupo formado por las redes que tienen unas mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) que presentan unas paredes sólidas dispuestas incluidas en unas caras de mallas poliédricas rectas y por las redes que tienen unas mallas que presentan unas paredes sólidas dispuestas incluidas en unas caras de mallas poliédricas curvadas.

40 15. Pieza según la reivindicación 14, caracterizada por que dicha red sólida tridimensional se selecciona en el grupo formado por las redes que tienen unas mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) poliédricas que presentan unas aberturas en cada una de sus caras.

45 16. Pieza según una de las reivindicaciones 10 a 15, caracterizada por que dicha red sólida tridimensional se selecciona en el grupo formado por las redes que tienen unas mallas (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) que presentan unas paredes sólidas dispuestas incluidas en unas caras de mallas poliédricas y por lo menos una abertura en por lo menos dos caras distintas de las mallas poliédricas no periféricas, y por que cada abertura de cada cara de una malla poliédrica de la red sólida tridimensional presenta un área superior al área total de la cara que la incorpora.

50 17. Pieza según una de las reivindicaciones 10 a 16, caracterizada por que comprende, a título de materiales dieléctricos, aire y un material dieléctrico sólido impreso por impresión tridimensional según dicha red sólida tridimensional.

55 18. Pieza según una de las reivindicaciones 10 a 17, caracterizada por que uno por lo menos de dichos materiales dieléctricos en estado sólido se selecciona en el grupo formado por los óxidos metálicos, por los carburos, por los boruros, por los nitruros, por los fluoruros, por los siliciuros, por los titanatos, por los sulfuros, por los polímeros sintéticos y por sus mezclas.

Fig 1

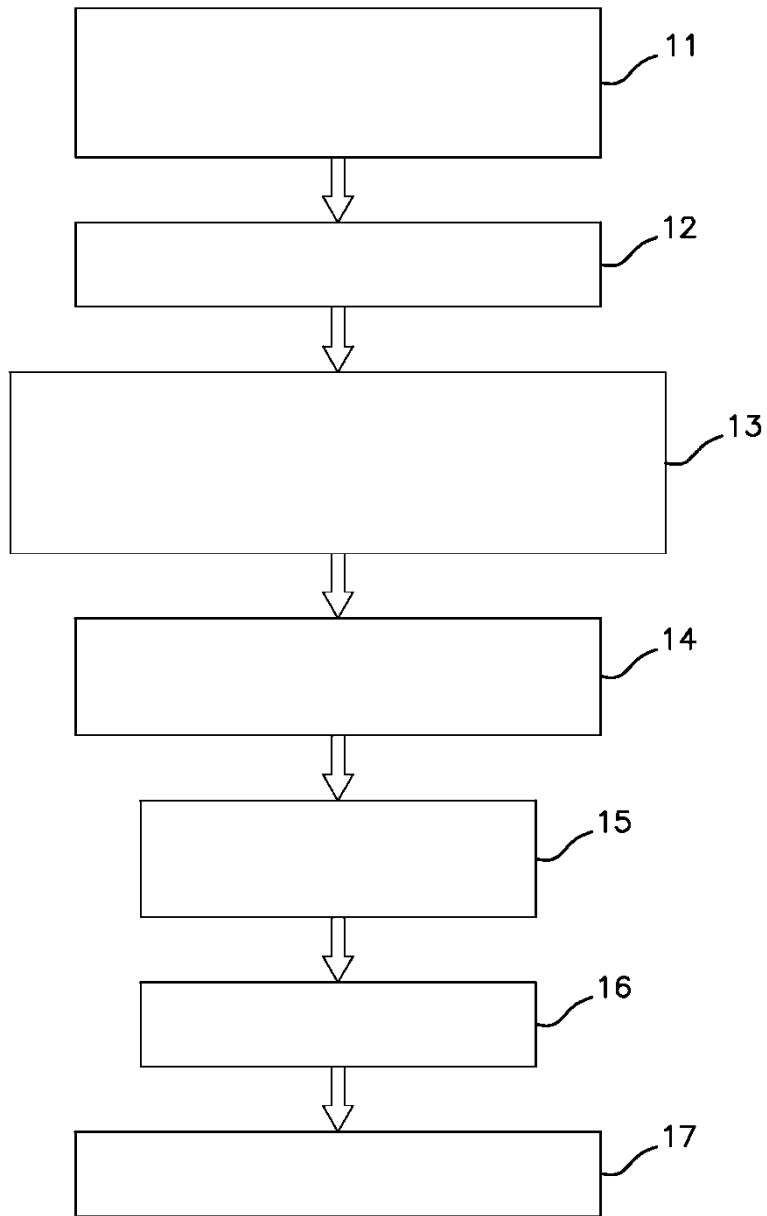


Fig 2

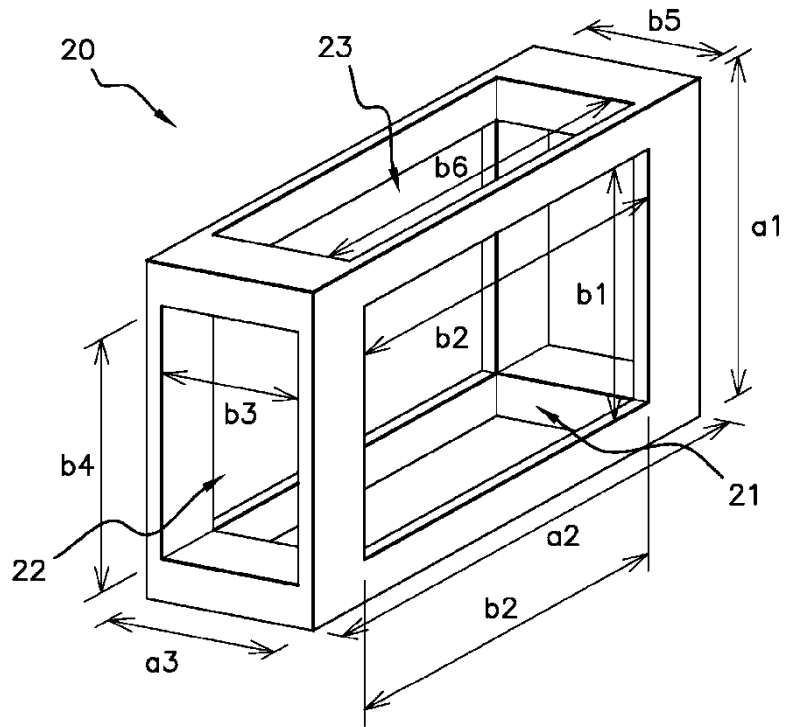


Fig 3

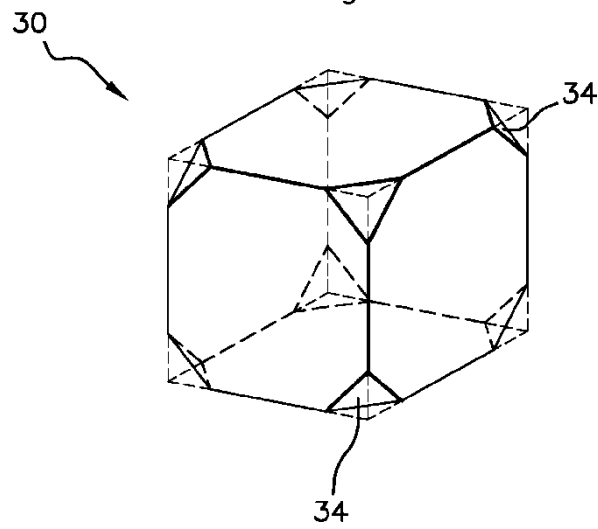




Fig 4

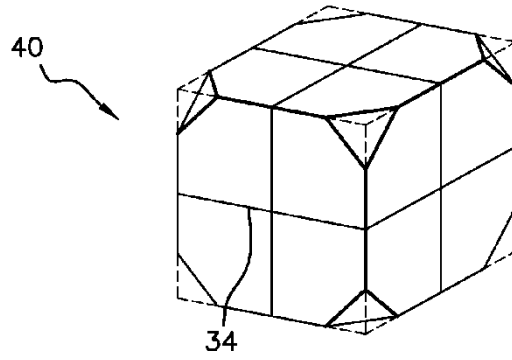


Fig 5

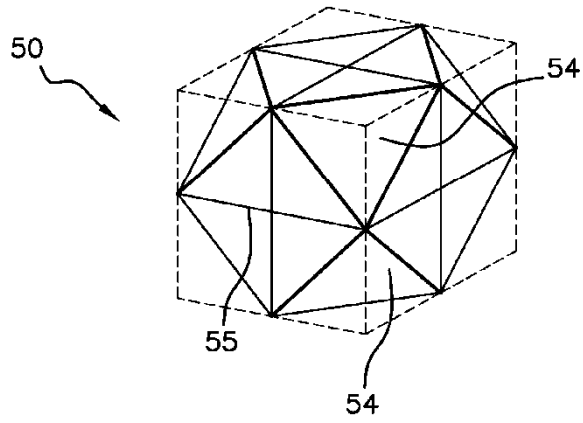


Fig 6

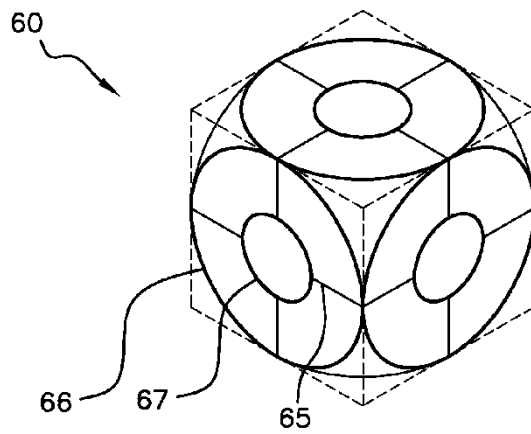


Fig 7

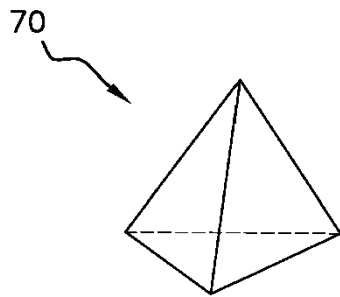


Fig 8

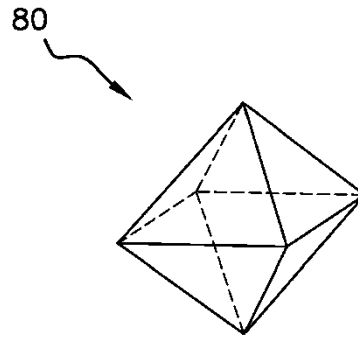


Fig 9

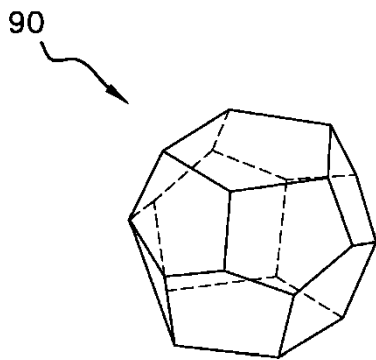


Fig 10

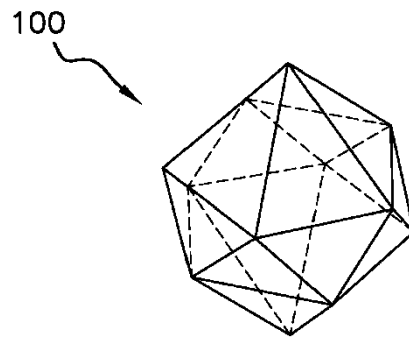


Fig 11

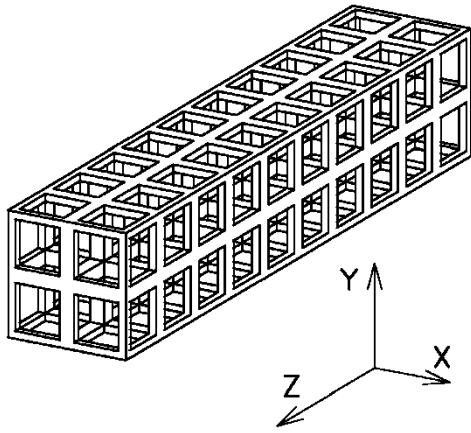


Fig 12

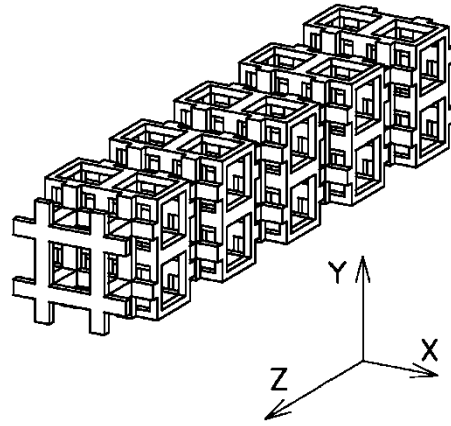


Fig 13

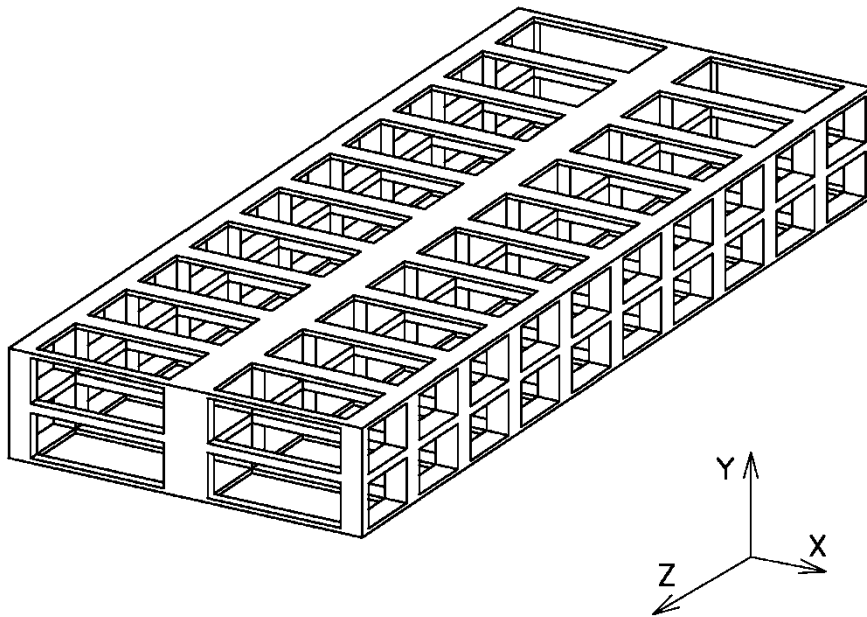


Fig 14

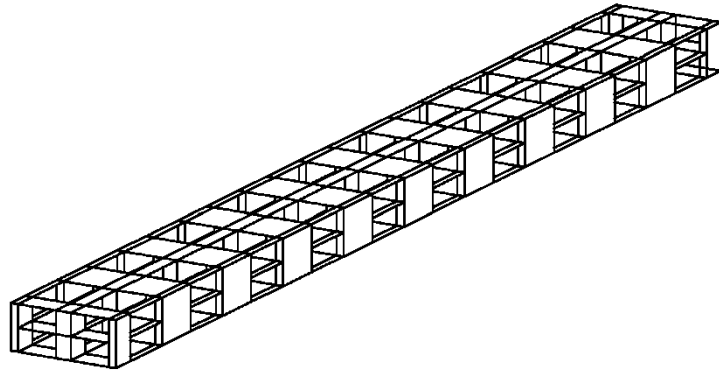


Fig 15

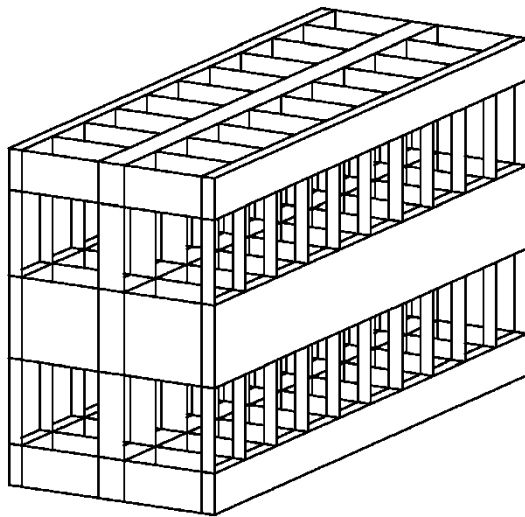


Fig 16

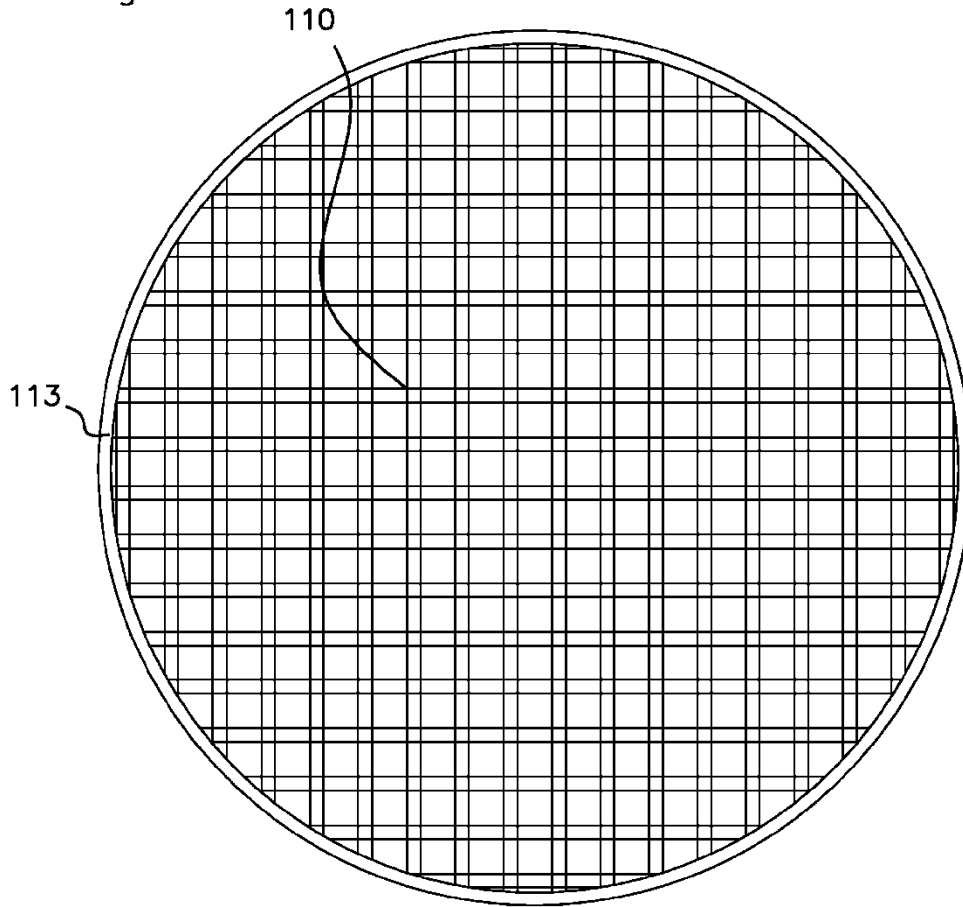


Fig 17

