

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 982 571**

51 Int. Cl.:

H01Q 15/10 (2006.01)

H01Q 19/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.04.2020** **PCT/NZ2020/050037**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.10.2020** **WO20218927**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2020** **E 20795119 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2024** **EP 3959776**

54 Título: **Material dieléctrico artificial y lentes de enfoque fabricadas con él**

30 Prioridad:

26.04.2019 NZ 19752944

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

16.10.2024

73 Titular/es:

GUANGZHOU SIGTENNA TECHNOLOGY CO., LTD. (100.0%)
Room 311, Floor 3rd, Main Building, No. 5, 1st Street, Gongye 1st Road, Nansha Street, Nansha District
Guangzhou, Guangdong 511400, CN

72 Inventor/es:

SLEDKOV, VICTOR ALEKSANDROVICH

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 982 571 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

Material dieléctrico artificial y lentes de enfoque fabricadas con él

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a materiales dieléctricos artificiales y lentes de enfoque para ondas electromagnéticas.

Objetivo de la invención

10

El objetivo de la invención es proporcionar un material dieléctrico artificial ligero para la fabricación de dispositivos como lentes de enfoque y antenas para comunicación por radio. El material proporcionado debe ser simple de fabricar y tener propiedades repetibles.

15 Antecedentes

El mercado de comunicación móvil moderno necesita antenas de múltiples haces que creen haces estrechos y operen en diferentes bandas de frecuencia. La lente dieléctrica de enfoque es la parte principal de las antenas de múltiples haces más eficientes. El diámetro de una lente de enfoque debe ser varias longitudes de onda de la onda electromagnética que se propaga a través de una lente para crear un haz estrecho, por lo tanto, algunas lentes de antenas de múltiples haces para comunicación móvil tienen un diámetro superior a 1 m. Tales lentes fabricados con materiales dieléctricos comunes son demasiado pesados, por lo tanto, se realizó mucha investigación para crear lentes livianas y de baja pérdida que proporcionen las propiedades deseadas de las lentes de enfoque.

25 Los materiales dieléctricos artificiales más conocidos y ligeros consisten en partes conductoras orientadas al azar mezcladas con partes no conductoras hechas de material dieléctrico ligero. Es muy difícil fabricar un material uniforme con propiedades dieléctricas deseables mediante la mezcla aleatoria de partes conductoras y no conductoras, por lo tanto, una lente de enfoque es el componente más costoso de las antenas de múltiples haces. Para mejorar las propiedades y reducir el costo de las lentes de enfoque, el desarrollo de dichos materiales continúa constantemente.

30 La patente estadounidense 8518537 B2 describe el material dieléctrico artificial ligero que comprende una pluralidad de partículas pequeñas de material dieléctrico ligero, como espuma de polietileno, orientadas aleatoriamente y que contienen fibras conductoras colocadas en el interior de cada partícula.

35 La solicitud de patente US 2018/0034160 A1 describe el material dieléctrico artificial ligero que comprende una pluralidad de partículas de material dieléctrico ligero de orientación aleatoria, que contienen parches conductores delgados entre capas. Se indica en esta solicitud que dichas partículas multicapa proporcionan una mayor permitividad dieléctrica que las partículas que contienen fibras conductoras.

40 La solicitud de patente US 2018/0279202 A1 describe otros tipos de material dieléctrico artificial ligero que comprende una pluralidad de partículas pequeñas orientadas aleatoriamente. Un material descrito incluye pequeñas partículas multicapa de material dieléctrico ligero que contienen láminas conductoras delgadas entre capas. La solicitud de patente US2010/0295744 A1 describe una lente de guía de ondas convexa y liviana para recibir y/o transmitir señales electromagnéticas desde y/o hacia una o múltiples fuentes de señal, con la capacidad de enviar y recibir señales al mismo tiempo.

45 Todos los materiales dieléctricos artificiales ligeros mencionados anteriormente se fabrican mediante la mezcla aleatoria de pequeñas partículas. Se necesita eliminar los contactos de metal a metal dentro del material que podrían provocar distorsión de intermodulación pasiva, por lo tanto, la fabricación de dichos materiales comprende muchas etapas y su costo es alto.

50 La mezcla aleatoria proporciona propiedades isotrópicas de un material final compuesto por pequeñas partículas, pero algunas aplicaciones requieren un material dieléctrico con propiedades anisotrópicas. Por ejemplo, una lente cilíndrica fabricada con material dieléctrico anisotrópico puede reducir la despolarización de la onda electromagnética que atraviesa la lente cilíndrica y mejorar la relación de polarización cruzada de una antena de múltiples haces (Patente US 9819094 B2). La lente cilíndrica fabricada con material dieléctrico artificial isotrópico crea la despolarización de la onda electromagnética que pasa a través de dicha lente, por lo tanto, una antena que comprende dicha lente puede sufrir un alto nivel de polarización cruzada.

55 Se describió un material dieléctrico artificial ligero que proporciona propiedades anisotrópicas y es adecuado para fabricar una lente cilíndrica en la solicitud de patente de Nueva Zelanda 752904, presentada el 25 de abril de 2019. Este material consiste en tubos conductores cortos con paredes delgadas y colocados dentro de un material dieléctrico ligero. Los tubos se colocan en capas. Una capa comprende una lámina de un material dieléctrico ligero que contiene una pluralidad de agujeros. Un material dieléctrico ligero puede ser un polímero espumado. Los tubos se colocan en agujeros hechos en una lámina de un material dieléctrico ligero y contienen aire en su interior. Las capas que contienen

tubos están separadas por capas de un material dieléctrico ligero sin tubos. Los ejes de todos los tubos conductores están dirigidos en perpendicular a las capas.

Dicha estructura podría tener una permitividad dieléctrica (D_k) de hasta 2,5 para una onda electromagnética que se propaga a lo largo de los ejes de los tubos, pero su D_k es significativamente menor para una onda electromagnética que se propaga en dirección perpendicular. La razón de esta propiedad indeseada del material dieléctrico artificial conocido es la propiedad anisotrópica de los tubos.

Una onda electromagnética que se propaga a través de un material dieléctrico artificial que comprende partículas conductoras excita corrientes circulares que fluyen en las partículas conductoras, por lo tanto, la permeabilidad de dichos materiales es menor que 1. Este efecto fue descrito hace muchos años (W. E. Kock *Metallic delay lenses*. // *Bell System Technical Journal*, v.27, pp. 58-82, enero de 1948). Cuando una onda electromagnética se propaga a través de una red cuadrada o hexagonal de tubos conductores en dirección a lo largo de los ejes de los tubos, el coeficiente de retardo (n) no depende de la polarización, ya que cualquier polarización excita las mismas corrientes circulares. Cuando una onda electromagnética se propaga a través de una red cuadrada o hexagonal de tubos conductores en dirección perpendicular a los ejes de los tubos, la dependencia de n varía según la polarización. Los mayores corrientes circulares fluyen en una pared del tubo conductor en dirección perpendicular al eje del tubo conductor cuando el campo magnético de la onda electromagnética está dirigido en paralelo al eje del tubo conductor. Como resultado, la permeabilidad para dicha polarización es significativamente menor que para otras polarizaciones y el coeficiente de retardo n también es menor que n para otras polarizaciones. Es posible aumentar el coeficiente de retardo n para dicha polarización al disminuir la distancia entre los tubos dispuestos en una capa. Aumentar la capacidad entre los tubos dispuestos en la capa aumenta la permitividad del material dieléctrico artificial. Como resultado, el material dieléctrico artificial conocido puede proporcionar una diferencia muy pequeña entre n para cualquier polarización de la onda electromagnética que se propaga en dirección perpendicular a los ejes de los tubos conductores, pero no puede proporcionar el mismo n para otras direcciones de la onda electromagnética.

Debido a que n depende del ángulo entre la dirección de la onda electromagnética que atraviesa el material y los ejes de los tubos, dicho material dieléctrico artificial no es adecuado para muchas aplicaciones que requieren un material dieléctrico isotrópico que proporcione el mismo valor de n para cualquier dirección y polarización de la onda electromagnética. Por ejemplo, las lentes esféricas de Luneburg deben estar hechas de un material dieléctrico isotrópico que tenga el mismo índice de refracción para cualquier dirección y polarización de la onda electromagnética para mantener la polarización de la onda electromagnética que pasa a través de la lente esférica. Por lo tanto, existe la necesidad de crear un material dieléctrico artificial que proporcione una menor dependencia de la dirección y polarización de la onda electromagnética al atravesar el material en comparación con el estado de la técnica, por ejemplo, como se describe en el documento NZ752904. Dicho material dieléctrico artificial debe proporcionar propiedades anisotrópicas deseables para reducir la despolarización de la onda electromagnética que atraviesa la lente cilíndrica, al mismo tiempo que debe tener propiedades isotrópicas para ser adecuado para la fabricación de lentes esféricas de Luneburg. Al mismo tiempo, la fabricación de dicho material debe ser más sencilla que la fabricación de materiales artificiales ligeros conocidos, hechos mediante la mezcla aleatoria de pequeñas partículas que contienen elementos conductores aislados entre sí.

Resumen de la invención

La presente invención proporciona un material dieléctrico artificial que comprende una pluralidad de láminas de un material dieléctrico y una pluralidad de tubos conductores cortos colocados en las láminas del material dieléctrico, en donde la longitud del tubo conductor corto es de 0,2 a 5 veces el diámetro respectivo y el diámetro del tubo es veinte veces menor que la longitud de onda de una frecuencia de operación, las láminas del material dieléctrico que contienen los tubos conductores cortos están separadas por láminas del material dieléctrico sin los tubos conductores cortos, y en donde los ejes de los tubos están orientados a lo largo de al menos dos direcciones diferentes.

Preferiblemente, las al menos dos direcciones diferentes son direcciones ortogonales. Los tubos conductores cortos pueden tener una sección transversal en forma de círculo o polígono, y preferiblemente están hechos de aluminio. Sin embargo, los tubos también pueden estar hechos de cobre, níquel, plata u oro.

Preferiblemente, el material dieléctrico es un polímero espumado, que está hecho de un material seleccionado entre polietileno, poliestireno, polipropileno, poliuretano, silicona y politetrafluoroetileno.

Los tubos conductores cortos colocados en una capa pueden formar una estructura cuadrada (rejilla) proporcionando distancias iguales entre los tubos vecinos dispuestos en la misma fila o en la misma columna. Alternativamente, los tubos conductores cortos colocados en una capa forman una estructura de panal (rejilla) que proporciona distancias iguales entre cualquier tubo vecino.

Los ejes de los tubos conductores cortos colocados en una capa pueden estar dirigidos en la misma dirección. Tales ejes en una capa pueden estar dirigidos perpendicularmente a la capa, o pueden estar dirigidos paralelamente a la capa.

Los ejes de algunos tubos conductores cortos colocados en una capa pueden estar dirigidos perpendicularmente a la capa, mientras que los ejes de otros tubos conductores cortos pueden estar dirigidos en paralelo a la capa. Los ejes de los tubos conductores cortos dirigidos en paralelo a la capa pueden estar dirigidos en diferentes direcciones.

El coeficiente de retardo n del material dieléctrico artificial proporcionado depende de la orientación de los tubos, las distancias entre los tubos y entre las capas. Por lo tanto, el material dieléctrico artificial proporcionado, que comprende tubos con diferentes orientaciones de ejes en una capa y capas con diferentes estructuras, ofrece más oportunidades para alcanzar propiedades dieléctricas deseables en comparación con el material conocido descrito en la solicitud de patente NZ 752904. Por ejemplo, la dependencia n de la dirección de propagación y polarización de las ondas electromagnéticas es menor debido a que los ejes de los tubos tienen múltiples direcciones, como tres direcciones ortogonales. Como resultado, el material dieléctrico artificial proporcionado se puede utilizar para la fabricación de diversos tipos de lentes de enfoque y antenas.

Al proporcionar el material dieléctrico artificial mencionado anteriormente, la invención avanza al menos en cierta medida para superar las deficiencias del conocido material dieléctrico artificial ligero descrito en la solicitud de patente NZ 752904 y proporciona un material dieléctrico artificial ligero que ofrece una menor dependencia de la dirección y polarización de la propagación de ondas electromagnéticas a través del material. Al mismo tiempo, la fabricación de dicho material puede ser más sencilla que la fabricación de análogos conocidos hechos mediante la mezcla de pequeñas partículas que contienen elementos conductores aislados entre sí.

En cambio, la presente invención proporciona un método para fabricar un material dieléctrico artificial que comprende colocar tubos conductores delgados en una pluralidad de láminas de un material dieléctrico, y apilar dichas láminas juntas, en donde las láminas del material dieléctrico que contienen los tubos conductores cortos están separadas por láminas del material dieléctrico sin los tubos conductores cortos, y en donde los ejes de los tubos están orientados a lo largo de al menos dos direcciones diferentes. Preferiblemente, los tubos conductores cortos se colocan en agujeros preexistentes en las láminas del material dieléctrico.

La invención también proporciona una lente de enfoque cilíndrica que comprende el material dieléctrico artificial descrito anteriormente.

La lente de enfoque cilíndrica puede comprender una amplia gama de estructuras dependiendo de la naturaleza del material dieléctrico artificial utilizado y su estructura. Por ejemplo, los tubos de cada capa pueden formar una rejilla cuadrada o hexagonal. (Figura 2). Los tubos de cada capa pueden ser colocados radialmente en círculos y formar una estructura en forma de 'girasol'. (Figuras 3-8). Las capas pueden tener tubos con ejes dirigidos únicamente en perpendicular a la capa y capas que contienen los tubos con ejes dirigidos únicamente en paralelo a la capa. (Figuras 2, 5a). Los ejes de los tubos de una capa que contienen los tubos con ejes dirigidos únicamente en paralelo a la capa pueden estar dirigidos perpendicularmente a los ejes de los tubos de otra capa que contienen los tubos con ejes dirigidos en paralelo a la capa. (Figuras 2b, 2c). Cada capa puede contener tubos con ejes dirigidos perpendicularmente a la capa y tubos con ejes dirigidos en paralelo a la capa. (Figuras 4, 6, 7, 8). Los ejes de los tubos dirigidos en paralelo a la capa y desplazados en capas pares pueden estar dirigidos perpendicularmente a los ejes de los tubos dirigidos en paralelo a la capa y desplazados en capas impares. (Figura 6). Cada capa puede contener círculos de los tubos con los ejes dirigidos perpendicularmente a la capa y círculos de los tubos con los ejes dirigidos en paralelo a la capa. (Figura 8). En tal caso, al menos un círculo puede contener tubos cuyos ejes estén dirigidos en paralelo a la capa y en paralelo al círculo. (Figura 8). Al menos un círculo puede contener tubos que tienen ejes dirigidos en paralelo a la capa y perpendicular al círculo. (Figura 8).

La lente de enfoque cilíndrica puede incluir un dieléctrico colocado a lo largo del eje longitudinal de la lente de enfoque cilíndrica. (Figura 7).

La lente de enfoque cilíndrica se proporciona para su uso con antenas de múltiples haces y es más sencilla de fabricar en comparación con los análogos conocidos.

Descripción de las figuras

En la descripción adicional de la invención, se hace referencia a las figuras adjuntas únicamente a modo de ejemplo, en las cuales:

Las Figuras 1a-1h muestran vistas superiores de capas de material dieléctrico que comprenden tubos en diversas orientaciones según varias realizaciones de la invención;

Las Figuras 2a-2c muestran vistas superiores de capas que se combinan para formar una lente cilíndrica, cuya sección transversal se muestra en la Figura 2d;

Las Figuras 3a y 3b muestran una vista desde arriba y una vista en sección transversal, respectivamente, de una lente cilíndrica ensamblada con dos tipos de capas diferentes;

Las Figuras 4a y 4b muestran una vista desde arriba y una vista en sección transversal, respectivamente, de una lente cilíndrica que comprende una pluralidad de tubos cortos colocados en círculos y que tienen dos orientaciones ortogonales de sus ejes;

Las Figuras 5a y 5b muestran una vista desde arriba y una vista en sección transversal, respectivamente, de una lente cilíndrica que comprende una pluralidad de tubos cortos colocados en círculos;

Las Figuras 6a y 6b muestran una vista desde arriba y una vista en sección transversal, respectivamente, de una lente cilíndrica que comprende una pluralidad de tubos cortos colocados en círculos y que tienen dos orientaciones ortogonales de sus ejes;

Las Figuras 7a y 7b muestran una vista desde arriba y una vista en sección transversal, respectivamente, de una lente cilíndrica fabricada con el material dieléctrico artificial ligero proporcionado que comprende una varilla hecha de material dieléctrico usual y colocada en el centro de la lente cilíndrica;

Las Figuras 8a y 8b muestran una vista desde arriba y una vista en sección transversal, respectivamente, de una lente cilíndrica que comprende una pluralidad de tubos cortos colocados en círculos y con tres orientaciones ortogonales de sus ejes.

A lo largo de las Figuras 2a-8b, se utilizan líneas de sección A-A para indicar secciones en dibujos correspondientes del mismo conjunto. Por ejemplo, las secciones indicadas en las Figuras 2a-2c se representan en la vista compuesta de las capas representadas por las Figuras 2a-2c mostradas en la Figura 2d.

Descripción detallada de la invención

Como se describe y se muestra en las figuras, el material dieléctrico artificial ligero incluye una pluralidad de tubos conductores cortos con paredes delgadas y colocados dentro de un material dieléctrico ligero. Una sección transversal del tubo podría ser un círculo o un polígono, por ejemplo, un cuadrado, un hexágono o un octágono. Los tubos conductores cortos se colocan en capas. Una capa comprende una lámina del material dieléctrico ligero que puede contener una pluralidad de agujeros para insertar los tubos. El material dieléctrico ligero puede ser un polímero espumado. Los tubos se colocan en agujeros hechos en una lámina de un material dieléctrico ligero y contienen aire dentro de los tubos. Las capas que contienen tubos están separadas por capas de un material dieléctrico ligero sin tubos. Las capas separadoras también podrían contener agujeros con un diámetro menor que el diámetro de los agujeros para los tubos, para proporcionar ventilación de aire a través del material dieléctrico ligero. Los tubos colocados en capas vecinas podrían colocarse uno encima del otro en los mismos ejes o las capas podrían desplazarse entre sí y los tubos podrían tener ejes diferentes.

Los tubos se disponen con diferentes orientaciones de los ejes de los tubos. Los ejes de algunos tubos están dirigidos perpendicularmente a las capas y los ejes de otros tubos están dirigidos en paralelo a las capas. Los tubos con ejes dirigidos en paralelo a las capas podrían ser dispuestos en perpendicular entre sí. Por lo tanto, debido a que los ejes de los tubos tienen tres direcciones ortogonales, las propiedades dieléctricas del material dieléctrico artificial ligero proporcionado dependen menos de la dirección y polarización de la onda electromagnética que atraviesa el material. Los tubos colocados en una capa podrían tener la misma orientación de ejes o una orientación diferente. Colocadas una encima de la otra, las capas que contienen tubos pueden tener la misma estructura o estructuras diferentes.

Con referencia a las Figuras 1a-1h, se muestran varios ejemplos de realizaciones de la presente invención donde tubos redondos colocados en una capa pueden formar diferentes estructuras y orientaciones.

La Figura 1a muestra la vista desde arriba de una capa que contiene tubos redondos colocados en filas donde los ejes de los tubos son perpendiculares a la capa y las distancias entre los tubos de filas vecinas y las distancias entre los tubos vecinos de una fila son iguales. La Figura 1b muestra la vista desde arriba de una capa que contiene tubos redondos colocados en filas donde los ejes de los tubos son perpendiculares a la capa. Las filas se desplazan a la mitad de la distancia entre los tubos vecinos colocados en una fila y las distancias entre cualquier tubo vecino son iguales. La Figura 1c muestra la vista desde arriba de una capa que contiene tubos redondos colocados en filas donde los ejes de todos los tubos están en paralelo a la capa y en paralelo entre sí. La Figura 1d muestra la vista desde arriba de una capa que contiene tubos redondos colocados en filas donde los ejes de los tubos están en paralelo a la capa y en paralelo entre sí. Las filas se desplazan a la mitad de la distancia entre los tubos vecinos colocados en una fila. La Figura 1e muestra la vista desde arriba de una capa que contiene tubos redondos colocados en filas, en donde los ejes de la mitad de los tubos están dirigidos perpendicularmente a la capa y los ejes de la otra mitad de los tubos están dirigidos en paralelo a la capa. Cada fila contiene tubos con ejes dirigidos perpendicularmente a la capa y tubos con ejes dirigidos en paralelo a la capa. La Figura 1f muestra la vista desde arriba de una capa que contiene tubos redondos colocados en filas, en donde los ejes de la mitad de los tubos están dirigidos perpendicularmente a la capa y los ejes de la otra mitad de los tubos están dirigidos en paralelo a la capa. Cada fila contiene tubos con ejes dirigidos perpendicularmente a la capa y tubos con ejes dirigidos en paralelo a la capa. Las filas vecinas se desplazan en la mitad de la distancia entre las filas vecinas.

La Figura 1g muestra la vista desde arriba de una capa que contiene tubos redondos colocados en filas, en donde los ejes de un tercio de los tubos están dirigidos perpendicularmente a la capa y los ejes de los otros tubos están dirigidos en paralelo a la capa. Los ejes de la mitad de los tubos paralelos están dirigidos perpendicularmente a los ejes de la otra mitad de los tubos paralelos. La Figura 1h muestra la vista desde arriba de una capa que contiene tubos redondos colocados en filas, en donde los ejes de un tercio de los tubos están dirigidos perpendicularmente a la capa y los ejes de los otros tubos están dirigidos en paralelo a la capa. Los ejes de la mitad de los tubos paralelos están dirigidos perpendicularmente a los ejes de la otra mitad de los tubos paralelos. Las filas vecinas se desplazan en la mitad de la

distancia entre las filas vecinas. Los tubos mostrados en las Figuras 1a-1h tienen una sección transversal de forma redonda, pero es posible utilizar tubos con cualquier otra sección transversal, por ejemplo, una forma de cualquier polígono.

Los dibujos también proporcionan varios ejemplos de realizaciones de una lente cilíndrica fabricada con el material dieléctrico artificial proporcionado y la forma en que las capas pueden ser dispuestas. Con referencia a la Figura 2a, esto muestra la vista desde arriba de la primera capa de una lente cilíndrica donde los tubos se colocan en filas y los ejes de los tubos están dirigidos perpendicularmente a la capa. Las distancias entre los tubos vecinos son iguales. La Figura 2b muestra la vista desde arriba de la segunda capa de una lente cilíndrica donde los tubos se colocan en filas y los ejes de los tubos están dirigidos en paralelo a la capa y a lo largo de las filas. Las distancias entre los tubos vecinos son iguales. La Figura 2c muestra la vista desde arriba de la tercera capa de una lente cilíndrica donde los tubos se colocan en filas y los ejes de los tubos están dirigidos en paralelo a la capa y perpendicular a las filas. Las distancias entre los tubos vecinos son iguales. La Figura 2d muestra la sección transversal de una lente cilíndrica que comprende seis capas de tubos. La primera capa y la cuarta capa son iguales. La segunda capa y la quinta capa son iguales. La tercera capa y la sexta capa son iguales. Por lo tanto, esta lente está ensamblada con tres tipos de capas diferentes.

Para otras aplicaciones, los tubos desplazados en una capa podrían formar otras estructuras y las lentes podrían incluir otras cantidades de capas diferentes. Por ejemplo, se muestra en las Figuras 3a y 3b una lente cilíndrica ensamblada con dos tipos de capas diferentes. La Figura 3a muestra la vista desde arriba de la primera capa de una lente cilíndrica donde los tubos se colocan en círculos y el eje de un tubo colocado en el centro de la lente está dirigido perpendicularmente a la capa. Los ejes de los otros tubos están dirigidos en paralelo a la capa y perpendicular a los círculos. Los tubos que forman la segunda capa se colocan opuestos a los tubos que forman la primera capa, pero sus ejes están dirigidos en paralelo a los círculos, excluyendo un tubo colocado en el centro de la lente. La Figura 3b muestra la sección transversal de una lente cilíndrica que comprende cuatro capas de tubos. La primera capa y la tercera capa son iguales. La segunda capa y la cuarta capa son iguales. Por lo tanto, esta lente está ensamblada con dos tipos de capas diferentes.

Otra realización de la presente invención se muestra en las Figuras 4a y 4b, en donde cada capa de una lente cilíndrica comprende una pluralidad de tubos cortos colocados en círculos y con dos orientaciones ortogonales de sus ejes. La Figura 4a muestra la vista desde arriba de una capa. Los ejes de los tubos colocados en el primer círculo desde el contorno exterior de una lente están dirigidos a lo largo de una capa. Los ejes de los tubos colocados en el segundo círculo desde el contorno exterior de una lente están dirigidos perpendicularmente a una capa. La Figura 4b muestra la sección transversal de una lente cilíndrica que comprende cuatro capas de tubos cortos. La primera capa y la segunda capa tienen una orientación diferente de tubos colocados en círculos impares. Los ejes de los tubos de la primera capa colocados en círculos impares están dirigidos perpendicularmente a los círculos. Los ejes de los tubos de la segunda capa colocados en círculos impares están dirigidos en paralelo a los círculos. La primera capa y la tercera capa son iguales. La segunda capa y la cuarta capa son iguales. Por lo tanto, esta lente está ensamblada con dos tipos de capas diferentes.

Otra realización de la presente invención se muestra en las Figuras 5a y 5b, en donde cada capa de una lente cilíndrica comprende una pluralidad de tubos cortos colocados en círculos. La Figura 5a muestra la vista desde arriba de la primera capa de una lente cilíndrica donde los tubos se colocan en círculos y sus ejes están dirigidos perpendicularmente a la capa. La Figura 5b muestra la sección transversal de una lente cilíndrica que comprende seis capas de tubos. La primera capa y la cuarta capa son iguales. La segunda capa y la quinta capa son iguales. La tercera capa y la sexta capa son iguales. Por lo tanto, esta lente está ensamblada con tres tipos de capas diferentes. Las vistas superiores de la segunda capa y la tercera capa se muestran en la Figura 3a.

Otra realización de la presente invención se muestra en las Figuras 6a y 6b, en donde cada capa de una lente cilíndrica comprende una pluralidad de tubos cortos colocados en círculos y con dos orientaciones ortogonales de sus ejes. La Figura 6a muestra la vista desde arriba de la primera capa de una lente cilíndrica donde los tubos forman la estructura mostrada en las Figuras 1e y 1f. Los tubos se colocan en círculos y cada círculo contiene tubos con ejes dirigidos perpendicularmente a la capa y tubos con ejes dirigidos en paralelo a la capa. La Figura 6b muestra la sección transversal de una lente cilíndrica que comprende cuatro capas de tubos. Los tubos de la primera capa con ejes dirigidos en paralelo a la capa se dirigen a lo largo de círculos. Los tubos de la segunda capa con ejes dirigidos en paralelo a la capa están dirigidos perpendicularmente a los círculos. La primera capa y la tercera capa son iguales. La segunda capa y la cuarta capa son iguales. Por lo tanto, esta lente está ensamblada con dos tipos de capas diferentes.

Otra realización de la presente invención se muestra en las Figuras 7a y 7b, en donde una lente cilíndrica fabricada con el material dieléctrico artificial ligero proporcionado comprende una varilla hecha de material dieléctrico usual y colocada en el centro de la lente cilíndrica. Tal varilla aumenta D_k en el centro de dicha lente cilíndrica y proporciona soporte mecánico de láminas dieléctricas livianas que forman una lente. La varilla podría ser cilíndrica o tener una sección transversal en forma de polígono o una estrella de múltiples vigas. Las capas de la lente cilíndrica mostradas en las Figuras 7a y 7b tienen la misma estructura que la lente cilíndrica mostrada en las Figuras 6a y 6b.

Otra realización de la presente invención se muestra en las Figuras 8a y 8b, en donde cada capa de una lente cilíndrica comprende una pluralidad de tubos cortos colocados en círculos y con tres orientaciones ortogonales de sus ejes. La Figura 8a muestra la vista desde arriba de una capa. Los ejes de los tubos colocados en el primer círculo desde el contorno exterior de una lente están dirigidos en paralelo a una capa y perpendicular a un círculo. Los ejes de los tubos colocados en el segundo círculo desde el contorno exterior de una lente están dirigidos en paralelo a una capa y perpendicular a un círculo. Los ejes de los tubos colocados en el tercer círculo desde el contorno exterior de una lente están dirigidos perpendicularmente a una capa. Los ejes de los tubos que forman los primeros, cuartos y séptimos círculos están dirigidos en paralelo a los círculos. Los ejes de los tubos que forman los segundos, quintos y octavos círculos están dirigidos perpendicularmente a los círculos. Los ejes de los tubos que forman los terceros, sextos y novenos círculos están dirigidos perpendicularmente a una capa y estos tubos son más cortos que los otros tubos que forman una capa. La Figura 8b muestra la sección transversal de una lente cilíndrica que contiene cuatro capas iguales mostradas en la Figura 8a. Por lo tanto, dicha lente se ensambla con capas de un solo tipo.

En un ejemplo, el diámetro de los tubos conductores es aproximadamente veinte veces menor que la longitud de onda de la frecuencia de operación para proporcionar una dependencia aceptable de las propiedades del material dieléctrico artificial en función de la frecuencia. Una longitud de los tubos conductores puede ser de 0,2 a 5,0 veces su respectivo diámetro, dependiendo de las propiedades deseables del material dieléctrico artificial.

La densidad del material dieléctrico artificial proporcionado depende principalmente del peso de los tubos y de la densidad del material dieléctrico ligero. Por ejemplo, la espuma de polietileno tiene una densidad en el rango de 40-100 kg/m³. Los tubos de aluminio con un diámetro de 6 mm y un grosor de pared de 0,1 mm tienen una densidad de 180 kg/m³. Un material dieléctrico artificial proporcionado que contiene dichos tubos y espuma de polietileno tiene una densidad aproximada de 140 kg/m³ y una permitividad aproximada de 2,5 cuando las distancias entre los tubos y las capas son aproximadamente de 1 mm. La permeabilidad de este material es aproximadamente 0,75 y el coeficiente de retardo n es aproximadamente 1,37.

Se ensambló una lente cilíndrica con tres tipos de láminas de espuma de polietileno que contienen una estructura de rejilla hexagonal de tubos. Los ejes de los tubos dispuestos en la primera lámina están dirigidos en paralelo al eje longitudinal de la lente, como se muestra en la Figura 2a. Los ejes de los tubos dispuestos en la segunda y tercera láminas están dirigidos perpendicularmente al eje longitudinal de la lente, como se muestra en la Figura 2b y 2c. Los ejes de los tubos dispuestos en la segunda y tercera láminas están dirigidos perpendicularmente entre sí. Las láminas que contienen los tubos están separadas por láminas de espuma de polietileno sin tubos, como se muestra en la Figura 2d. Las láminas fueron ensambladas dentro de un tubo de fibra de vidrio con un diámetro de 350 mm y un espesor de pared de 2 mm, y se presionaron juntas entre las tapas superior e inferior dispuestas en los bordes del tubo de fibra de vidrio con una longitud de 400 mm. Tal lente permite que un radiador emita dos polarizaciones inclinadas, lo que aumenta la ganancia del radiador en 2,5 dB y proporciona una polarización cruzada por debajo de los 16 dB en el rango de frecuencia de 1,7-2,2 GHz. Este resultado demuestra las propiedades de un ejemplo de dicho material dieléctrico artificial proporcionado.

Un grupo de lentes de enfoque que podrían estar fabricadas del material dieléctrico artificial proporcionado no está limitado por las realizaciones descritas anteriormente. Las capas de lentes de enfoque también podrían formarse mediante otras estructuras. Por ejemplo, mediante las estructuras mostradas en la Figura 1g y 1h, en donde los ejes de los tubos que forman cada fila están dirigidos hacia tres direcciones ortogonales. Si los tubos que forman una capa de una lente cilíndrica se colocarán en círculos, cada círculo podría contener tubos con tres direcciones ortogonales de ejes. Tales lentes podrían ser ensamblados de capas de un solo tipo solamente. Los tubos que forman una capa pueden ser iguales o tener dimensiones diferentes. Las distancias entre los tubos podrían ser iguales y formar una estructura que proporciona una n permanente a lo largo de una capa. Las distancias entre los tubos podrían no ser iguales y formar varias áreas que proporcionan diferentes valores de n a lo largo de una capa. Tales capas mostradas en las Figuras 5-7 de la solicitud de patente de Nueva Zelanda 752904 están formadas por tubos que tienen ejes dirigidos perpendicularmente a la capa. Debido a que n depende del ángulo entre la dirección de la onda electromagnética que atraviesa el material y los ejes de los tubos, este material dieléctrico artificial no es adecuado para muchas aplicaciones que requieren un material dieléctrico isotrópico que proporcione el mismo valor de n para cualquier dirección y polarización de la onda electromagnética. El material dieléctrico artificial proporcionado que contiene tubos con, por ejemplo, tres direcciones ortogonales de ejes es adecuado para fabricar lentes esféricas de Luneburg que deben estar hechas de un material dieléctrico isotrópico que tenga el mismo índice de refracción para cualquier dirección y polarización de onda electromagnética.

En las reivindicaciones que siguen y en la descripción anterior de la invención, excepto cuando el contexto requiera lo contrario debido a un lenguaje expreso o una implicación necesaria, la palabra "comprender" o variaciones como "comprende" o "que comprende" se utiliza en un sentido inclusivo, es decir, para especificar la presencia de la característica mencionada pero no para excluir la presencia o adición de otras características en diversas realizaciones de la invención.

Se entiende que, si se hace referencia a alguna publicación de arte previo en la presente memoria, dicha referencia no constituye una admisión de que la publicación forma parte del conocimiento general común en el arte en ningún país.

REIVINDICACIONES

1. Un material dieléctrico artificial que comprende una pluralidad de láminas de material dieléctrico y una pluralidad de tubos conductores cortos colocados en las láminas del material dieléctrico, en donde la longitud del tubo conductor corto es de 0,2-5 veces el diámetro respectivo y el diámetro del tubo es veinte veces menor que la longitud de onda de una frecuencia de operación, las láminas del material dieléctrico que contienen los tubos conductores cortos están separadas por láminas del material dieléctrico sin los tubos conductores cortos, y en donde los ejes de los tubos están orientados a lo largo de al menos dos direcciones diferentes.
2. El material dieléctrico artificial según la reivindicación 1, en donde las al menos dos direcciones diferentes son direcciones ortogonales.
3. El material dieléctrico artificial según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde los tubos conductores cortos tienen una sección transversal en forma de círculo o polígono.
4. El material dieléctrico artificial según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde los tubos conductores cortos están hechos de aluminio.
5. El material dieléctrico artificial según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el material dieléctrico es un polímero espumado.
6. El material dieléctrico artificial según las reivindicaciones 5, en donde el polímero espumado está hecho de un material seleccionado entre polietileno, poliestireno, polipropileno, poliuretano, silicona y politetrafluoroetileno.
7. El material dieléctrico artificial según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde los tubos conductores cortos colocados en una capa forman una estructura de rejilla cuadrada que proporciona distancias iguales entre los tubos vecinos dispuestos en la misma fila o en la misma columna.
8. El material dieléctrico artificial según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde los tubos conductores cortos colocados en una capa forman una estructura de rejilla en forma de panal de abeja que proporciona distancias iguales entre cualquier tubo vecino.
9. El material dieléctrico artificial según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde los ejes de los tubos conductores cortos colocados en una capa están dirigidos en la misma dirección.
10. El material dieléctrico artificial según la reivindicación 9, en donde los ejes de los tubos conductores cortos colocados en una capa están dirigidos perpendicularmente a la capa.
11. El material dieléctrico artificial según la reivindicación 9, en donde los ejes de los tubos conductores cortos colocados en una capa están dirigidos en paralelo a la capa.
12. El material dieléctrico artificial según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde los ejes de algunos tubos conductores cortos colocados en una capa están dirigidos perpendicularmente a la capa y los ejes de otros tubos conductores cortos están dirigidos en paralelo a la capa.
13. El material dieléctrico artificial según la reivindicación 12, en donde los ejes de los tubos conductores cortos dirigidos en paralelo a la capa están dirigidos en diferentes direcciones.
14. Una lente de enfoque cilíndrica que comprende el material dieléctrico artificial según cualquiera de las reivindicaciones 1-13.
15. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 14, en donde los tubos de cada capa forman una rejilla cuadrada o hexagonal.
16. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 14, en donde los tubos de cada capa se colocan radialmente en círculos.
17. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 14, que comprende capas con tubos que tienen ejes dirigidos únicamente en perpendicular a la capa y capas que contienen tubos que tienen ejes dirigidos únicamente en paralelo a la capa.
18. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 17, en donde los ejes de los tubos de la capa que contiene los tubos con ejes dirigidos únicamente en paralelo a la capa están dirigidos perpendicularmente a los ejes de los tubos de la otra capa que contiene los tubos con ejes dirigidos en paralelo a la capa.

19. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 16, en donde cada capa contiene los tubos con ejes dirigidos perpendicularmente a la capa y los tubos con ejes dirigidos en paralelo a la capa.
- 5 20. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 19, en donde los ejes de los tubos dirigidos en paralelo a la capa y desplazados en capas pares están dirigidos perpendicularmente a los ejes de los tubos dirigidos en paralelo a la capa y desplazados en capas impares.
- 10 21. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 16, en donde cada capa contiene círculos de los tubos con los ejes dirigidos perpendicularmente a la capa y círculos de los tubos con los ejes dirigidos en paralelo a la capa.
22. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 21, en donde al menos un círculo contiene los tubos con los ejes dirigidos en paralelo a la capa y en paralelo al círculo.
- 15 23. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 21, en donde al menos un círculo contiene los tubos con los ejes dirigidos en paralelo a la capa y perpendicular al círculo.
- 20 24. La lente de enfoque cilíndrica según la reivindicación 14, en donde se coloca una varilla dieléctrica a lo largo del eje longitudinal de la lente de enfoque cilíndrica.
- 25 25. Un método para fabricar un material dieléctrico artificial que comprende colocar tubos conductores cortos en una pluralidad de láminas de un material dieléctrico y apilar dichas láminas juntas, en donde la longitud del tubo conductor corto es de 0,2 a 5 veces el diámetro respectivo y el diámetro del tubo es veinte veces menor que la longitud de onda de una frecuencia de operación, las láminas del material dieléctrico que contienen los tubos conductores cortos están separadas por láminas del material dieléctrico sin los tubos conductores cortos, y en donde los ejes de los tubos están orientados a lo largo de al menos dos direcciones diferentes.
- 30 26. El método según la reivindicación 25, en donde los tubos conductores cortos se colocan en agujeros preexistentes en las láminas del material dieléctrico.

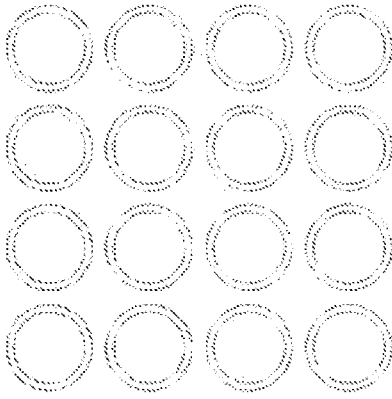


Figura 1a

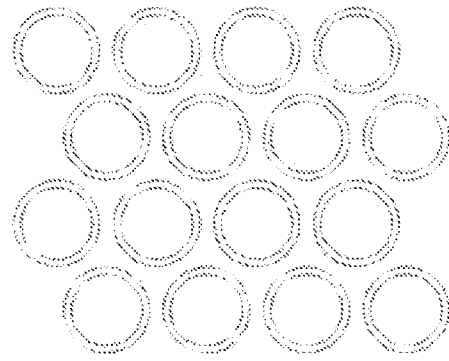


Figura 1b

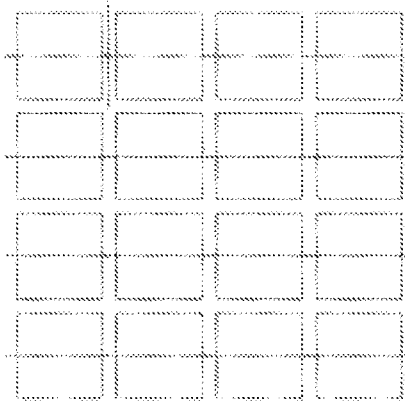


Figura 1c

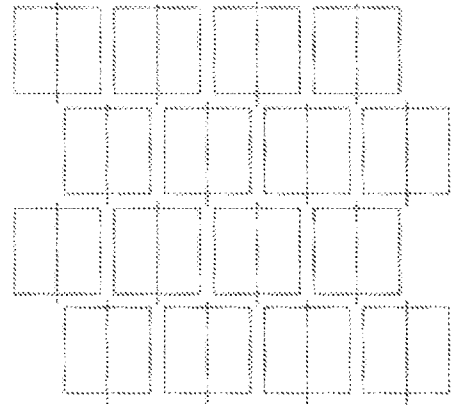


Figura 1d

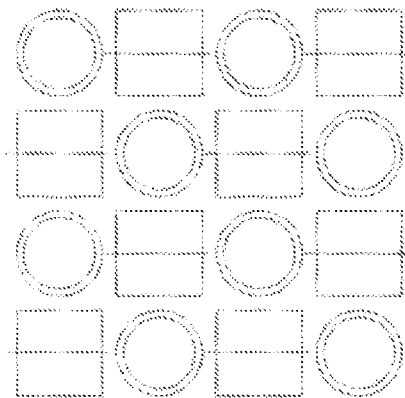


Figura 1e

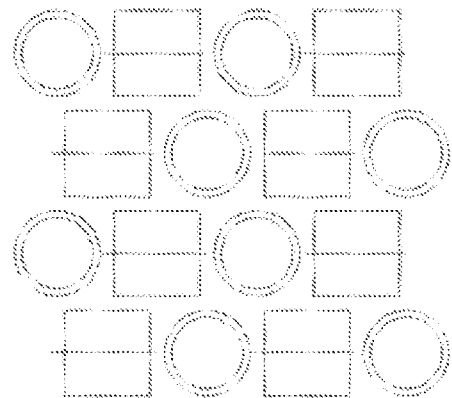


Figura 1f

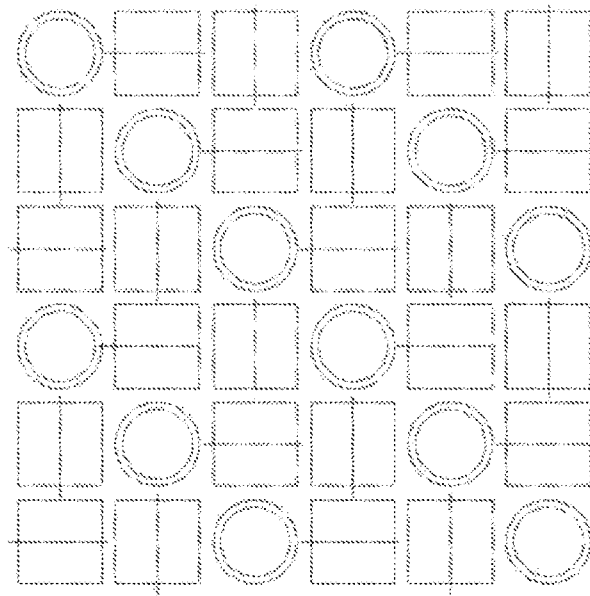


Figura 1g

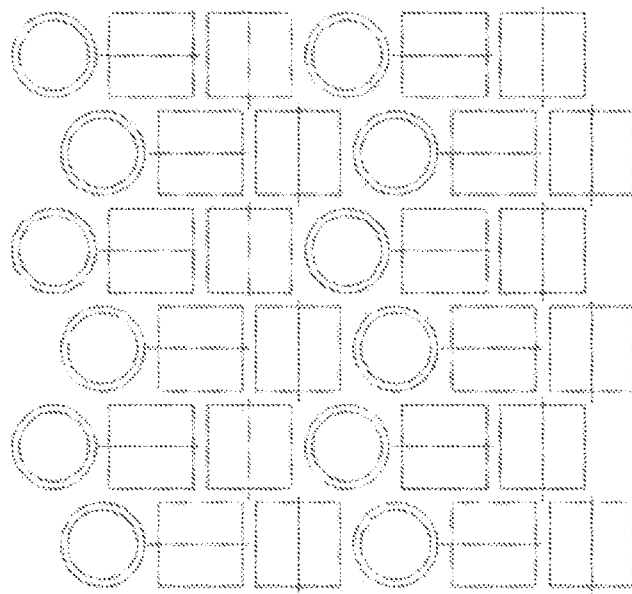


Figura 1h

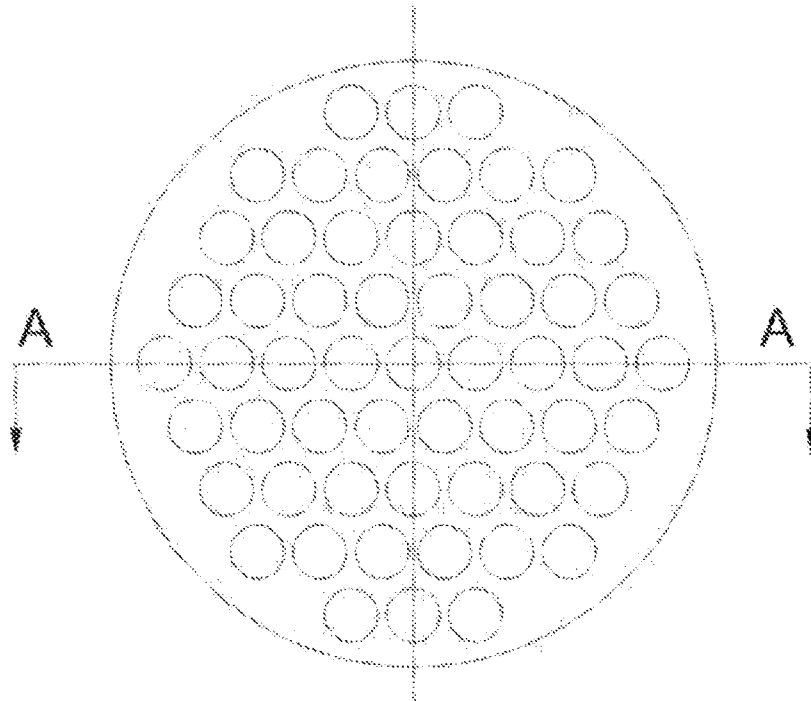


Figura 2a

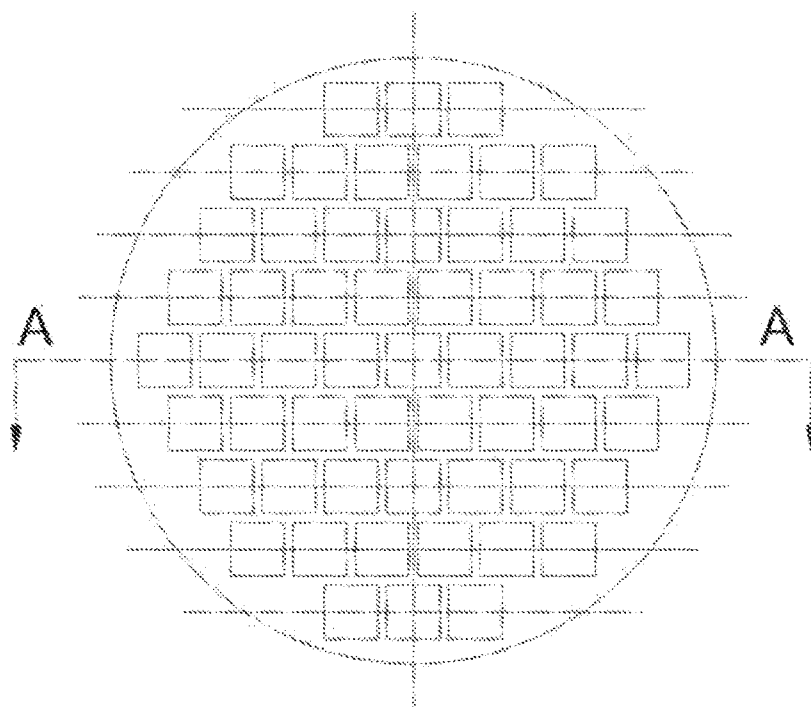


Figura 2b

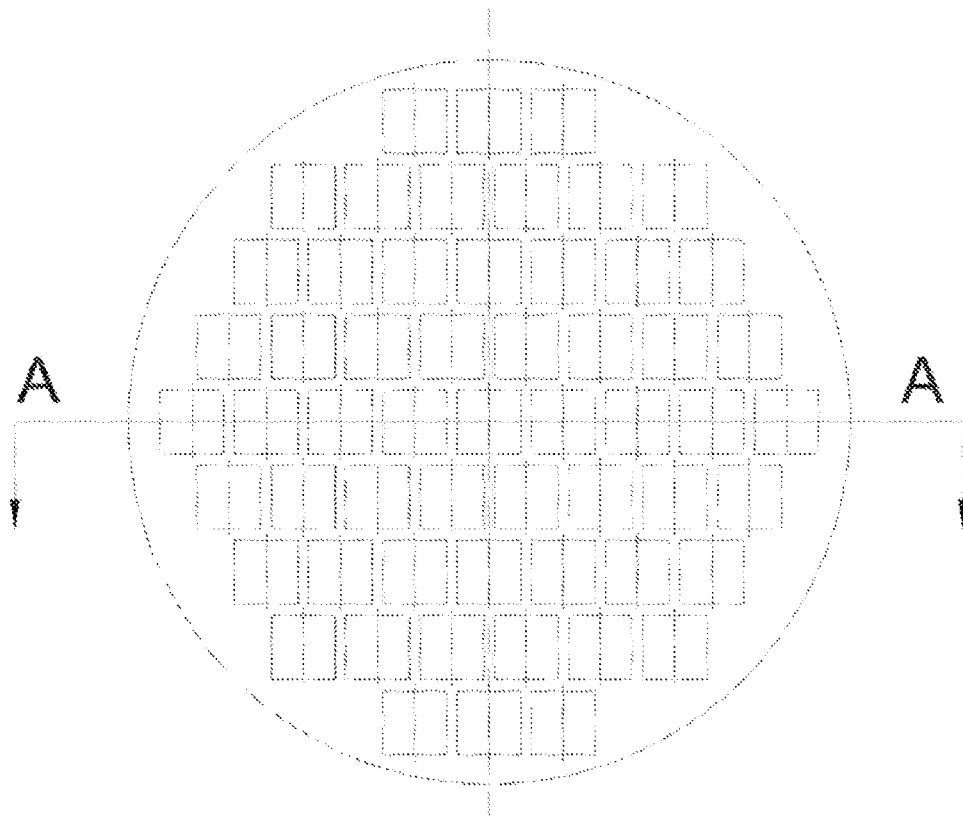


Figura 2c

A-A

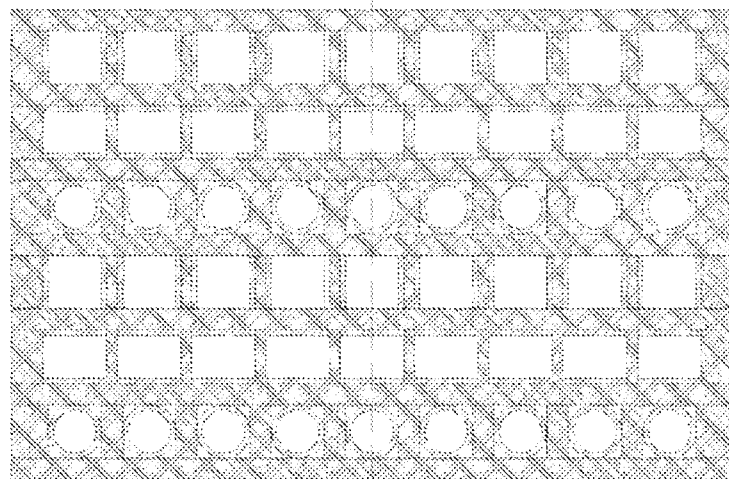


Figura 2d

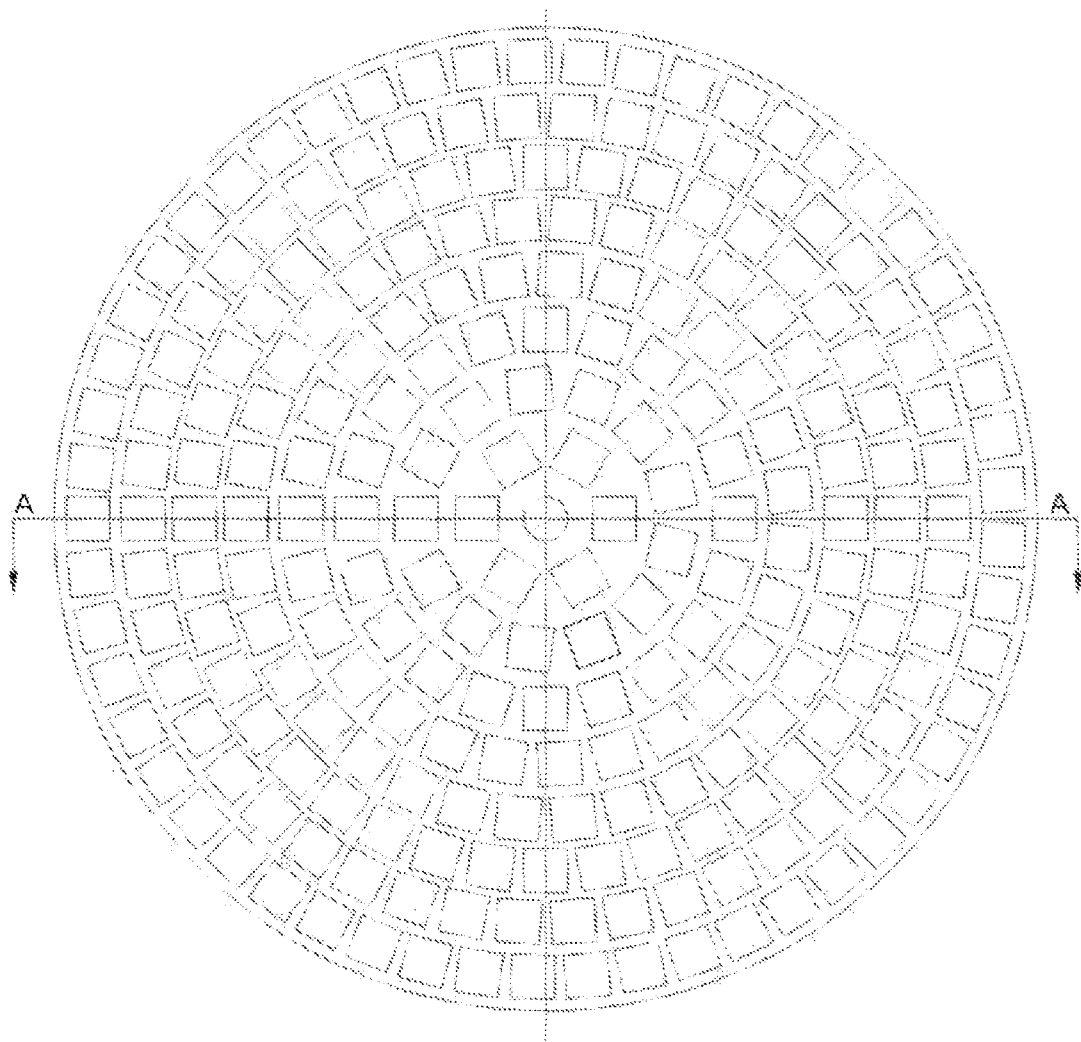


Figura 3a

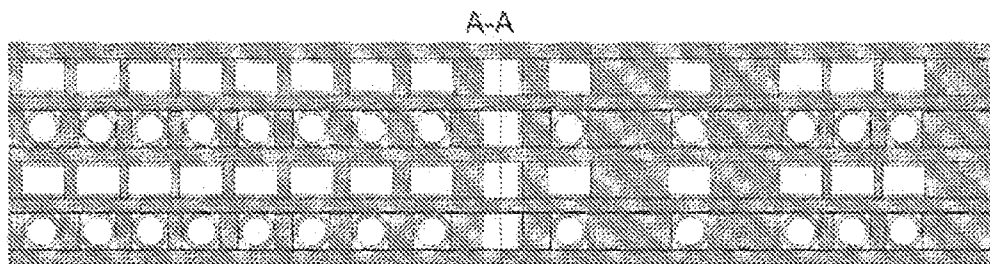


Figura 3b

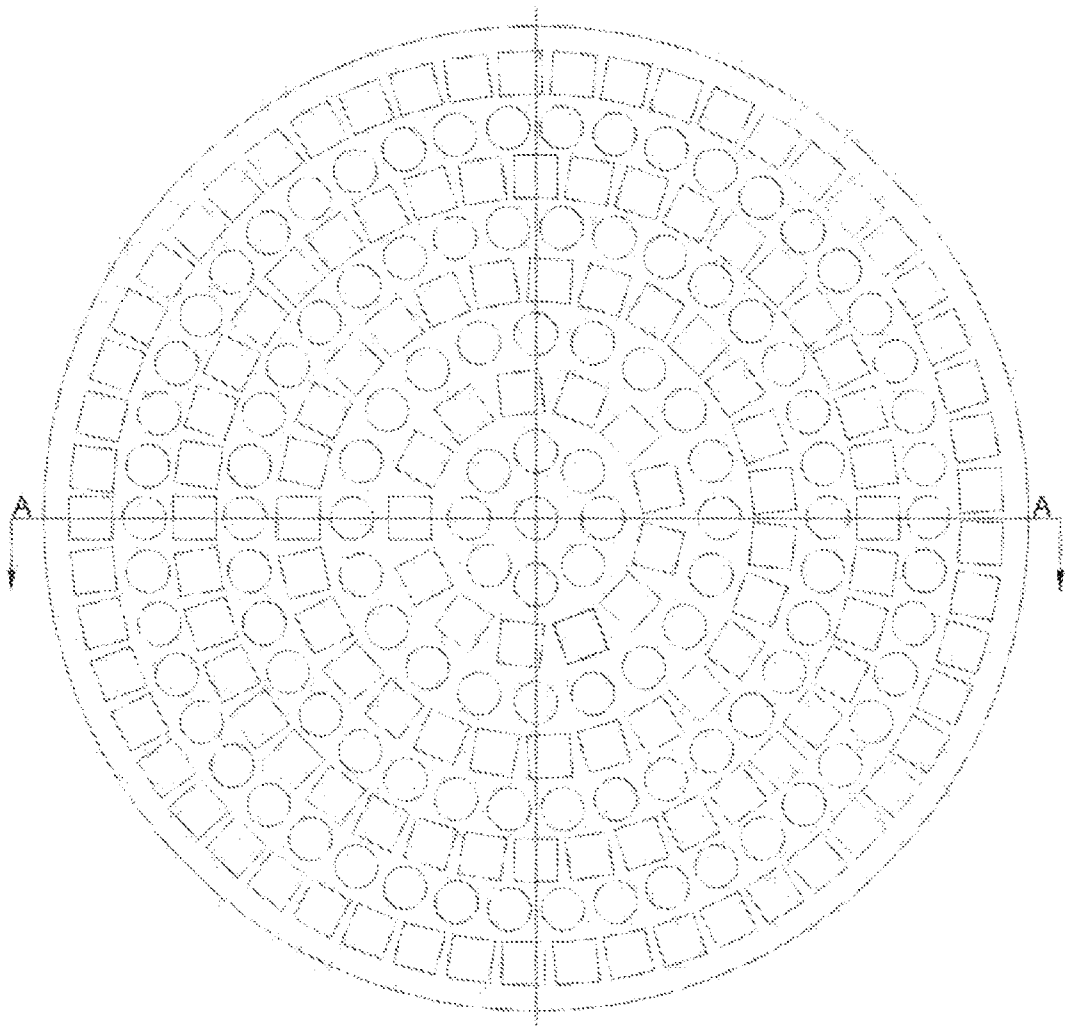


Figura 4a

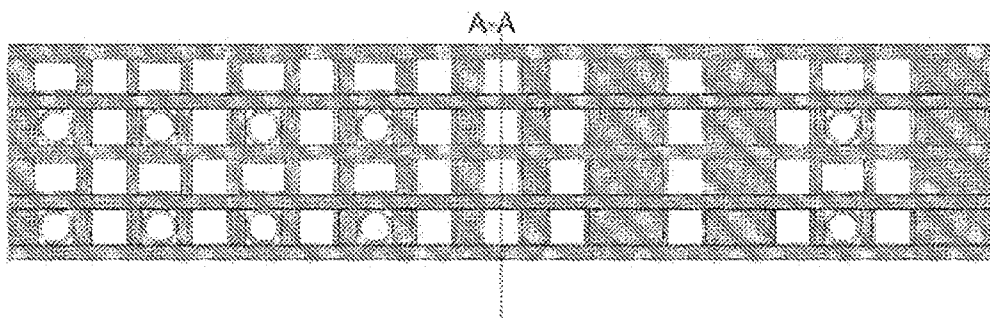


Figura 4b

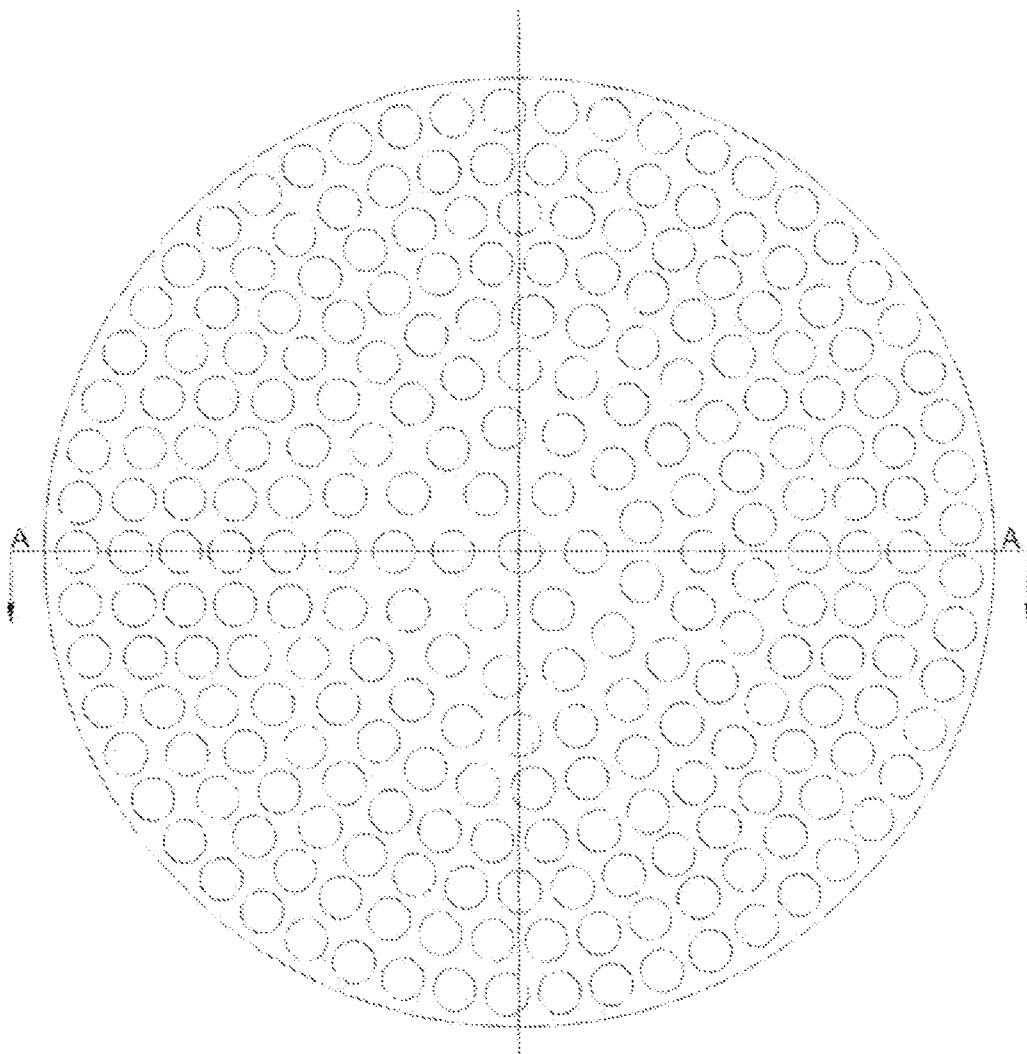


Figura 5a

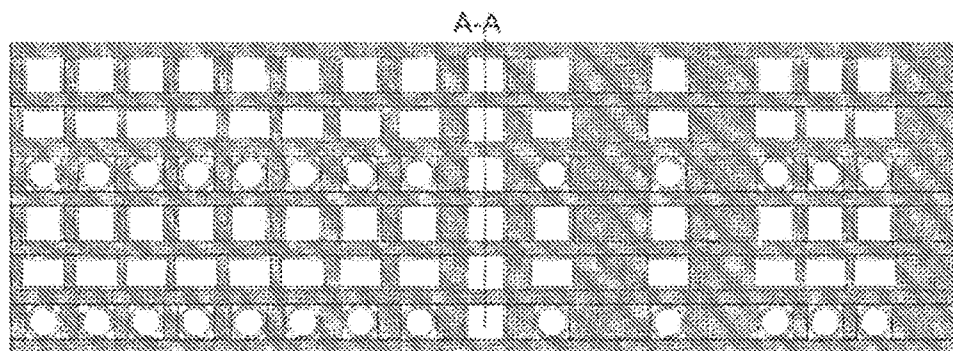


Figura 5b

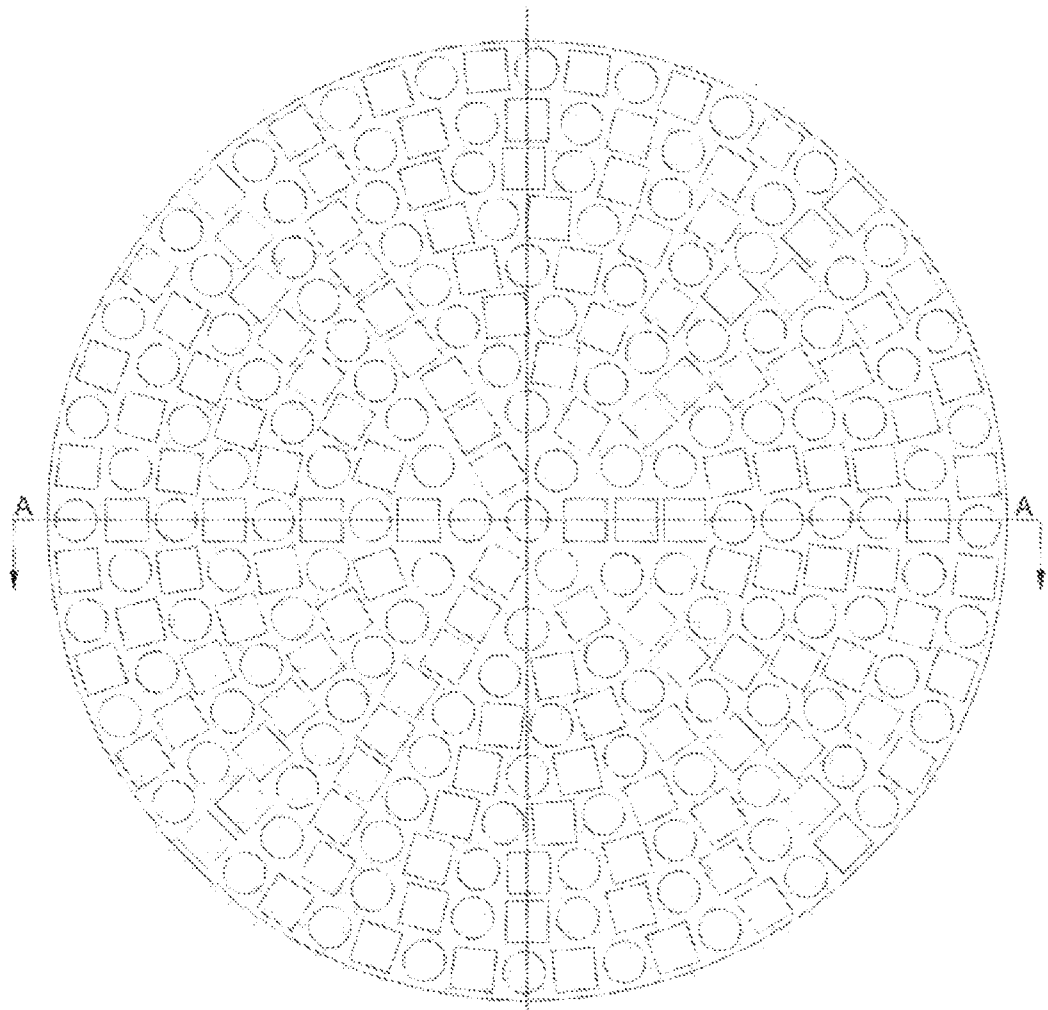


Figura 6a

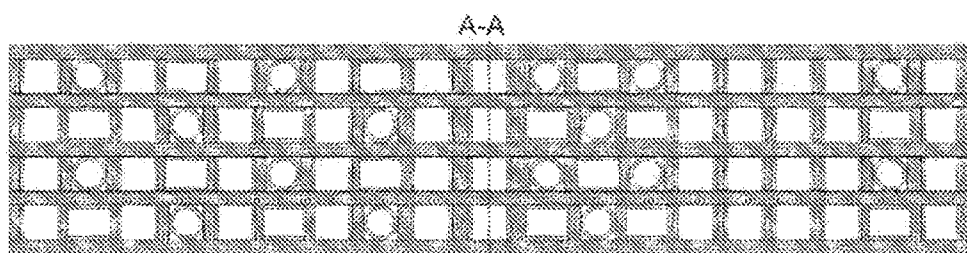


Figura 6b

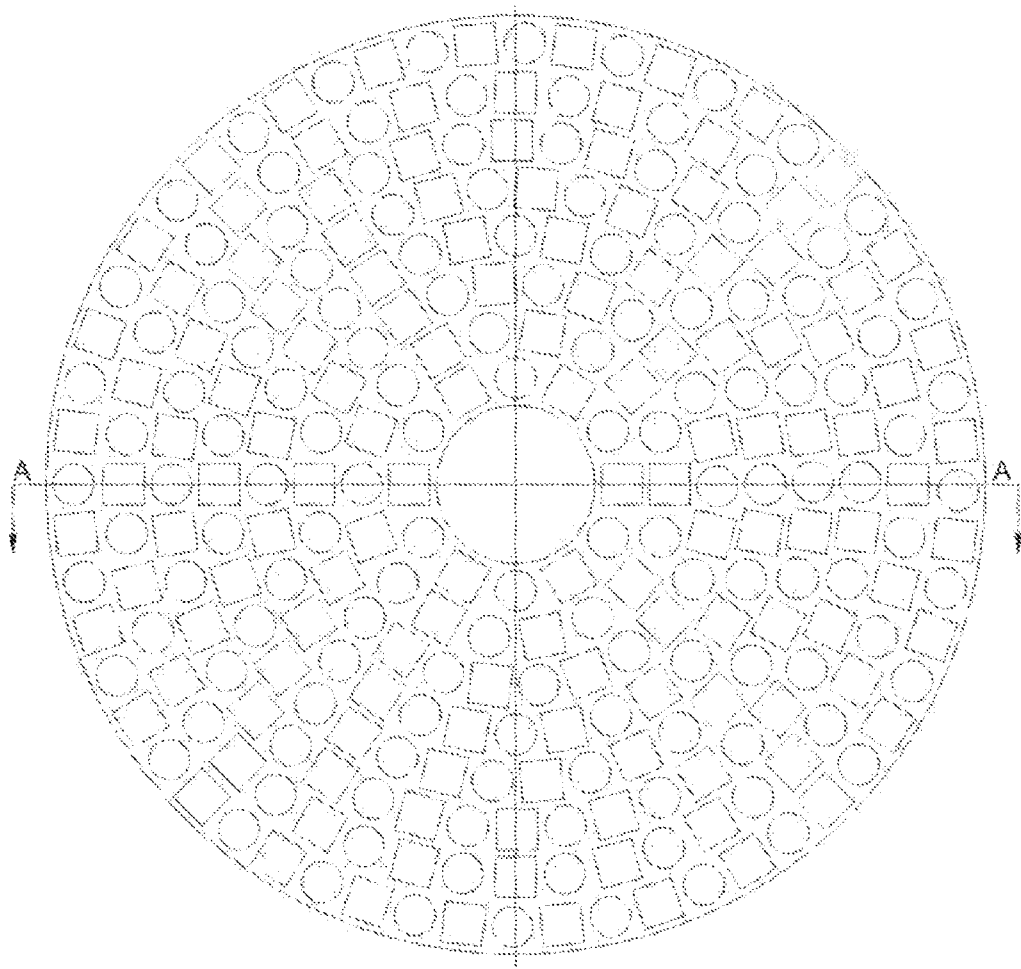


Figura 7a

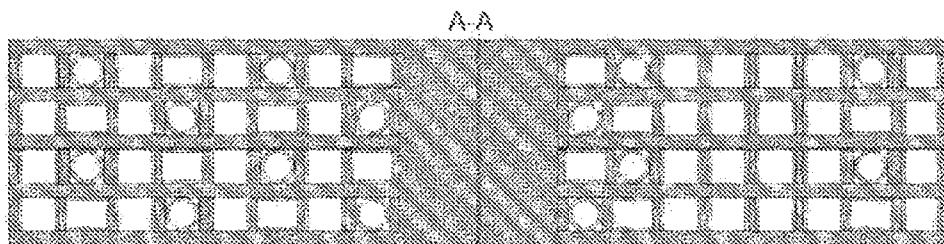


Figura 7b

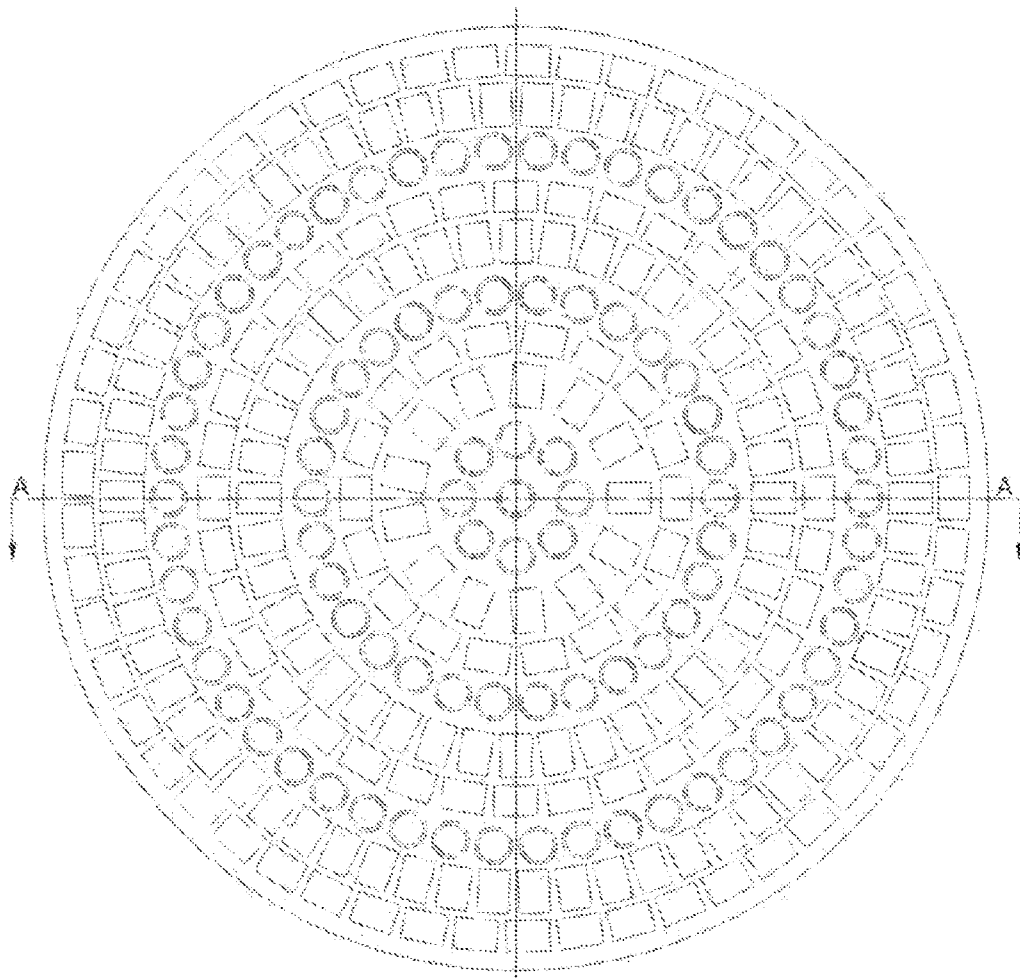


Figura 8a

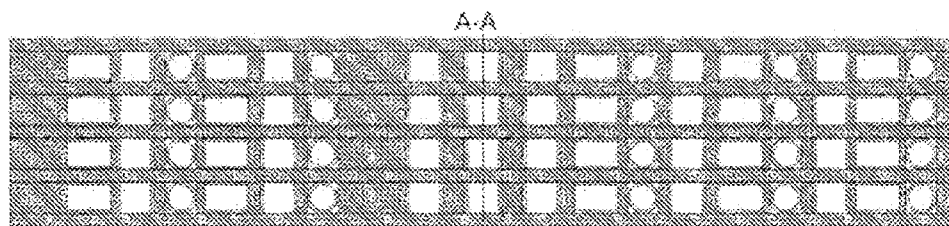


Figura 8b