

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 628 633**

51 Int. Cl.:

**H01Q 21/00** (2006.01)

**H01Q 1/28** (2006.01)

**H01Q 3/26** (2006.01)

**H01Q 19/13** (2006.01)

**H01Q 19/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.01.2013 PCT/EP2013/051509**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.08.2013 WO13110793**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2013 E 13701118 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017 EP 2807702**

54 Título: **Formador multihaz de dos dimensiones, antena que consta de dicho formador multihaz y sistema de telecomunicación por satélite que consta de dicha antena**

30 Prioridad:

**27.01.2012 FR 1200244**

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

**03.08.2017**

73 Titular/es:

**THALES (33.3%)  
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade Nord  
92400 Courbevoie, FR;  
UNIVERSITÉ DE RENNES 1 (33.3%) y  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (33.3%)**

72 Inventor/es:

**LEGAY, HERVÉ;  
SAULEAU, RONAN y  
ETTORRE, MAURO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 628 633 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

Formador multihaz de dos dimensiones, antena que consta de dicho formador multihaz y sistema de telecomunicación por satélite que consta de dicha antena

5 La presente invención se refiere a un formador multihaz de dos dimensiones, a una antena que consta de dicho formador multihaz y a un sistema de telecomunicación por satélite que consta de dicha antena. Esta se aplica en particular al campo de las telecomunicaciones por satélite.

En el campo de las telecomunicaciones por satélite, es necesario disponer de una antena con formación de haces que permita cubrir un vasto territorio, como Europa, por ejemplo, con un muy gran número de haces finos con una abertura angular por ejemplo inferior a  $0,2^\circ$ , y con un buen recubrimiento de los haces.

10 Una primera arquitectura de antena con formación de haces, llamada antena con reflector con una red focal, consiste en utilizar una red de fuentes asociada a un reflector, por ejemplo parabólico, estando la red de fuentes, llamada red local, colocada en un plano focal situado en el foco del reflector. En recepción, el reflector refleja una onda plana incidente recibida y la focaliza en el plano focal del reflector en la red focal. Según la dirección de llegada de la onda plana incidente sobre el reflector, su focalización por el reflector se realiza en diferentes puntos del plano focal. El reflector permite, por lo tanto, concentrar la energía de las señales incidentes recibidas en una zona reducida de la red focal, dependiendo esta zona de la dirección de llegada de la señal incidente. La síntesis de un haz que corresponde a una dirección particular, se puede realizar por lo tanto a partir de un número reducido de fuentes preseleccionadas de la red focal, tradicionalmente del orden de siete fuentes para una red focal que consta, por ejemplo, del orden de doscientas fuentes. Las fuentes seleccionadas para la síntesis de un haz son diferentes de un haz a otro y se seleccionan según la dirección de llegada de las señales incidentes sobre el reflector. Para la síntesis de un haz, un formador de haces combina todas las señales focalizadas en las fuentes seleccionadas específicas de este haz. Al ser bajo el número de fuentes específico de un haz, este tipo de antena presenta la ventaja de funcionar con un formador de haz de complejidad reducida y que no plantea ningún problema importante para su realización, incluso cuando el número de haces aumenta de manera significativa, por ejemplo para 400 haces. Sin embargo, en caso de pérdida de una fuente, por ejemplo como consecuencia de una avería de un amplificador de señales posicionado en la salida de esta fuente, el haz correspondiente se verá muy alterado. Para evitar la pérdida de una fuente, es por lo tanto necesario duplicar el número de amplificadores posicionados en la salida de cada fuente, así como todas las cadenas electrónicas de mando correspondientes. Lo que aumenta la complejidad y las dimensiones de la antena.

30 Una segunda arquitectura de antena con formación de haces, llamada antena de red en fases (en inglés: *phased array antenna*) consiste en utilizar una red de fuentes radiantes con radiación directa en la cual todas las fuentes participan en la síntesis de cada uno de los haces, realizándose la síntesis de cada haz mediante un formador de haces por aplicación de una matriz de desplazamiento de fase en la salida de la red de fuentes radiantes de manera que se compense el retardo de radiación de las fuentes unas en relación con las otras para cada dirección de radiación de la red de fuentes radiantes. Por consiguiente, todos los haces están formados por el conjunto de las fuentes, solo la ley de retardo aplicada a cada fuente cambia de un haz a otro haz. Esta arquitectura presenta la ventaja de una menor sensibilidad de la antena en caso de pérdida de fuentes y permite reducir el número de cadenas de amplificación por un factor dos, pero presenta el inconveniente de un formador de haces muy complejo de realizar, e incluso irrealizable en la actualidad cuando el número de haces que hay que sintetizar es muy importante. En efecto, para sintetizar por ejemplo un haz con una red de 300 fuentes radiantes, el formador de haces debe combinar las 300 señales de microondas en la salida de cada fuente. Para sintetizar 100 haces con una red de 300 fuentes radiantes, esta combinación debe realizarse 100 veces. Las matrices de desplazamiento de fase correspondientes son, por lo tanto, muy voluminosas y no se pueden realizar con unos circuitos de microondas. Por consiguiente, este tipo de antena solo existe actualmente para un número limitado de haces y de fuentes, como por ejemplo 6 haces y 64 fuentes.

Es posible realizar la síntesis de un gran número de haces y obtener un gran número de puntos utilizando una formación digital de los haces. Para ello, las señales de microondas se convierten a la altura de cada fuente en señales digitales antes de aplicarse en la entrada del formador de haces digital. Esta solución necesita, sin embargo, implantar unos dispositivos de transposición de frecuencia y unos convertidores analógico/digital a la altura de cada fuente, lo que aumenta la complejidad, la masa, el volumen y el consumo de la antena y no es aceptable para un uso en el campo de las telecomunicaciones multimedia.

Una tercera arquitectura de antena con formación de haces múltiples consiste en utilizar una red en fases que consta de unas fuentes de pequeño tamaño ampliada por un sistema óptico que consta de uno o varios reflectores. Esta arquitectura se puede llamar antena de red generadora de imágenes, ya que la red focal conserva globalmente las mismas características que una red en fases con radiación directa, realizándose la síntesis de un punto mediante la casi totalidad de las fuentes.

Una primera configuración de antena de red generadora de imágenes consta de dos reflectores parabólicos, principal y secundario, que tienen el mismo foco y de una red en fases. El reflector parabólico principal es de gran tamaño, el reflector parabólico secundario es de menor tamaño, la red en fases colocada delante del reflector

secundario consta de unas fuentes de tamaño reducido. El comportamiento de esta antena es similar al de la antena de red en fases con radiación directa, pero presenta la ventaja de aumentar el tamaño de la abertura radiante de la antena con respecto a una antena de red en fases con radiación directa, con un factor de ampliación definido por la relación de los diámetros de los dos reflectores, lo que permite reducir el tamaño de las fuentes de la red en fases y, por lo tanto, el tamaño de los haces. Su principal inconveniente se basa en la complejidad del formador de haces asociado a la red en fases ya que, como en el caso de la antena de red en fases con radiación directa, el conjunto de las fuentes participa en la contribución del conjunto de los haces.

Una segunda configuración de antena de red generadora de imágenes consta de un único reflector parabólico y de una red en fases desenfocada colocada delante del reflector. Esta configuración presenta un factor de ampliación de la abertura radiante de la antena con respecto a una antena de red en fases con radiación directa, igual a la relación entre la distancia focal del reflector parabólico y la distancia a la cual se ha desenfocado la red. En esta configuración, la mayoría de las fuentes participa de forma idéntica en la contribución del conjunto de los haces, pero el funcionamiento de la red en fases es un poco diferente del de una red en fases con radiación directa, o del de la red en fases asociada a la primera configuración de antena de red generadora de imágenes. Al contrario de estos dos tipos de redes en fases que emiten una onda plana, la red desenfocada asociada a una configuración de antena de red generadora de imágenes con un solo reflector emite una onda esférica, que el reflector principal convierte en onda plana.

Las dos configuraciones de antena de red generadora de imágenes presentan dos inconvenientes principales. A causa del alejamiento de la red en fases con respecto al foco del o de los reflectores, estos inducen algunas aberraciones. En efecto, la distribución de fase en la abertura radiante asociada al reflector principal está afectada por una distorsión espacial de fase que es más importante cuando el haz de señales está desviado. Estas distorsiones de fase se traducen en una degradación del haz irradiado y deben compensarse con una modificación de la ley de alimentación de la red en fases. Las dos configuraciones de antena de red generadora de imágenes presentan también un segundo inconveniente que proviene de la variación del tamaño de la abertura radiante en función de la desviación del haz y debido al hecho de que la superficie de interceptación de un haz emitido por la red en fases varía en función del ángulo de desviación. Para obtener una abertura radiante de igual tamaño es por tanto necesario ajustar el tamaño de la red en fases en función del ángulo de desviación.

A causa de estos diferentes inconvenientes, un formador de haces ortogonales desarrollado para una red en fases con radiación directa no es óptimo si se utiliza para las antenas de red formadoras de imagen. El formador de haz debe diseñarse en asociación con el sistema óptico de la antena, es decir con el o los reflectores, lo que es imposible con los formadores de haces existentes para los cuales el formador de haces se diseña de forma independiente de los reflectores de la antena.

Una cuarta arquitectura de antena con formación de haces consta de un formador de haces casi-óptico en el cual se guía a una señal emitida por un conjunto de puertos de entrada entre dos placas metálicas paralelas hacia un puerto de salida. La propagación de la señal emitida la interrumpe una pared reflectora que la refleja y la focaliza sobre el puerto de salida.

Existen dos configuraciones diferentes de formador de haces casi-óptico. Según una primera configuración, los puertos de entrada y de salida están situados en el mismo medio de propagación definido entre dos placas paralelas, pudiendo constar el medio de propagación de un dieléctrico. En este caso, los puertos de entrada y de salida se distribuyen en dos ejes ortogonales distintos y el muro reflector se ilumina con un ángulo de offset para que transmita la totalidad de la señal de los puertos de entrada hacia uno, o varios, puerto(s) de salida.

Según una segunda configuración, llamada estructura *pill-box*, los puertos de entrada y de salida están situados en dos medios de propagación diferentes superpuestos, definiéndose cada medio de propagación entre dos placas metálicas paralelas. Las dos capas de sustrato que constituyen los dos medios de propagación están acopladas por una pared reflectora interna que se extiende transversalmente con respecto a los planos de las capas. La primera capa de sustrato, por ejemplo la capa inferior, consta al menos de una fuente de energía de microondas colocada en el foco del reflector interno. Los puertos de salida están situados en la segunda capa de sustrato. Para mejorar la transición de las ondas entre las dos capas de sustrato, el documento FR 2 944 153 describe la preparación de unas ranuras de acoplamiento que se extienden a lo largo del reflector interno.

En estas dos configuraciones, en emisión, la fuente de energía colocada en el foco del reflector interno emite una onda incidente cilíndrica guiada en el medio de propagación tri-placa. A la onda incidente cilíndrica la refleja el reflector interno que la transforma en una onda plana. La onda plana reflejada se encamina a continuación mediante unas guías de onda hasta una red de ranuras radiantes. La energía se irradia por tanto por unas ranuras radiantes en forma de un haz. La formación del haz irradiado por la antena se realiza de forma natural mediante el simple guiado de la onda en la capa de sustrato, o en las dos capas de sustrato, y por medio de unos medios de transición casi-ópticos constituidos por el reflector interno y eventualmente las ranuras de acoplamiento. El desplazamiento de la fuente en el plano del foco del reflector genera unos frentes de onda que corresponden a unas direcciones de propagación dadas. Se obtienen un barrido y una desviación del haz en elevación, en un plano perpendicular al plano de la antena, mediante la conmutación de diferentes fuentes. Sin embargo, dado que las fuentes están situadas en un mismo plano, la desviación del haz no se puede realizar en todas las direcciones del espacio sino

únicamente en un único plano y no es posible ninguna formación de haces en azimut.

Un primer objetivo de la invención es realizar un formador multihaz que no conste de los inconvenientes de los formadores de haces existentes, simple de implementar, que permita la formación de un gran número de haces finos con un buen recubrimiento de los haces en un amplio campo angular y que permita asegurar una desviación de los haces en todas las direcciones del espacio.

Un segundo objetivo de la invención es realizar un formador de haces que se pueda diseñar y dimensionar en asociación con los reflectores de una antena.

Un tercer objetivo de la invención es realizar una antena con formación de haces múltiples y en particular una antena de red generadora de imágenes que consta de dicho formador multihaz y en la cual las aberraciones de fases se reducen enormemente.

Para ello, la invención se refiere a un formador multihaz de dos dimensiones que consta de una primera etapa de formación de haces destinada a sintetizar unos haces focalizados en una primera dirección X del espacio y de una segunda etapa de formación de haces destinada a focalizar los haces formados por la primera etapa en una segunda dirección Y del espacio, estando las dos etapas conectadas entre sí. Cada etapa consta al menos de dos estructuras planas multicapa superpuestas una sobre otra. Cada estructura multicapa de la primera etapa y de la segunda etapa consta de un reflector interno que se extiende transversalmente al plano de la estructura multicapa, al menos de dos primeras fuentes internas dispuestas delante del reflector interno y respectivamente unidas a dos primeros puertos de entrada/salida alineados en un primer eje de la estructura multicapa, al menos dos segundas fuentes internas dispuestas en un plano focal del reflector interno y respectivamente unidas a dos segundos puertos de entrada/salida alineados en un segundo eje de la estructura multicapa perpendicular al primer eje. Las segundas fuentes internas de la misma estructura multicapa de la primera etapa de formación de haces están respectivamente unidas a dos primeras fuentes internas de dos estructuras multicapa diferentes de la segunda etapa de formación de haces por medio de unos puertos de entrada/salida, llamados puertos de unión, a los cuales están respectivamente conectadas las segundas fuentes internas y las primeras fuentes internas.

De manera ventajosa, la primera etapa de formación de haces consta de  $N_y$  estructuras multicapa planas superpuestas una sobre otra, constando cada estructura multicapa de la primera etapa de  $N_x$  primeras fuentes internas dispuestas delante del reflector interno de la estructura multicapa correspondiente y conectadas a  $N_x$  puertos de entrada/salida alineados en paralelo a un eje V y de  $M_x$  segundas fuentes dispuestas en el plano focal del reflector interno correspondiente y conectadas a  $M_x$  puertos de unión alineados en paralelo a un eje U perpendicular al eje V. Además, la segunda etapa de formación de haces consta de  $M_x$  estructuras multicapa planas superpuestas una sobre otra, constando cada estructura multicapa de la segunda etapa de formación de haces de  $N_y$  primeras fuentes internas dispuestas delante del reflector interno de la estructura multicapa correspondiente y conectadas a  $N_y$  puertos de unión alineados en paralelo a un eje V' y de  $M_y$  segundas fuentes dispuestas en el plano focal del reflector (16) interno correspondiente y conectadas a  $M_y$  puertos de entrada /salida alineados en paralelo a un eje U' perpendicular al eje V'. Las  $N_y$  estructuras multicapa de la primera etapa constan de  $N_y \cdot M_x$  puertos de unión conectados respectivamente a  $M_x \cdot N_y$  puertos de unión correspondientes de las  $M_x$  estructuras multicapa de la segunda etapa, siendo  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $M_x$ ,  $M_y$  unos números enteros superiores a 1, estando los puertos de unión de una misma estructura multicapa de la primera etapa de formación de haces respectivamente conectados a unas estructuras multicapa diferentes de la segunda etapa de formación de haces.

De manera ventajosa, cada puerto de unión de la  $N_k$ ésima estructura multicapa de la primera etapa de formación de haces está conectado al  $N_k$ ésimo puerto de unión de una de las estructuras multicapa correspondiente de la segunda etapa de formación de haces, siendo  $N_k$  un número entero comprendido entre 1 y  $N_y$  incluidos.

Según una primera forma de realización de las estructuras multicapa de la invención, cada estructura multicapa consta de un plano metálico superior, de un plano metálico inferior y de una única capa de sustrato intercalada entre el plano metálico superior y el plano metálico inferior, el reflector interno se extiende transversalmente en la capa de sustrato desde el plano metálico inferior hasta el plano metálico superior, y las primeras fuentes internas y las segundas fuentes internas de cada estructura multicapa están dispuestas en la capa de sustrato y unidas respectivamente a un primer puerto de entrada/salida y a un segundo puerto de entrada/salida, estando el primer puerto de entrada/salida y el segundo puerto de entrada/salida dispuestos en dos direcciones ortogonales del plano de la capa de sustrato.

Según una segunda forma de realización de las estructuras multicapa de la invención, las primeras fuentes internas de cada estructura multicapa están dispuestas en una primera capa de sustrato intercalada entre un plano metálico superior y un plano metálico intermedio, las segundas fuentes están dispuestas en una segunda capa de sustrato intercalada entre el plano metálico intermedio y un plano metálico inferior; las primeras capas de sustrato y las segundas capas de sustrato están acopladas por el reflector interno que se extiende desde el plano metálico inferior al plano metálico superior y por medio de una abertura o de unas ranuras de acoplamiento que se extienden a lo largo del reflector interno y realizadas en el plano metálico intermedio que separa las dos capas de sustrato; cada estructura multicapa consta, además, de unas primeras guías de onda dispuestas en la segunda capa de sustrato, constando cada primera guía de onda de una primera parte de guía que se extiende en un eje longitudinal de la

estructura multicapa y conectada a las segundas fuentes interna y de una segunda parte de guía acodada que se extiende de forma perpendicular al eje longitudinal y unida a un segundo puerto de entrada/salida.

5 Según una forma de realización del formador multihaz de la invención, la segunda etapa de formación de haces consta de Mx primeras estructuras multicapa y al menos de Mx segundas estructuras multicapa y cada puerto de unión de la Nkésima estructura multicapa de la primera etapa de formación de haces está conectada al Nkésimo puerto de unión de una de las primeras estructuras multicapa correspondiente de la segunda etapa de formación de haces y al Nkésimo puerto de unión de una de las segundas estructuras multicapa de la segunda etapa de formación de haces, siendo Nk un número entero comprendido entre 1 y Ny incluidos.

10 Según otra forma de realización del formador multihaz de la invención, las Mx segundas estructuras multicapa de la segunda etapa de formación de haces constan de las primeras fuentes internas desplazadas linealmente con respecto a las primeras fuentes internas de las Mx primeras estructuras multicapa de la segunda etapa de formación de haces, correspondiendo el desplazamiento lineal a una traslación de todas las primeras fuentes internas de una misma distancia T inferior a una distancia entre los centros de dos primeras fuentes internas consecutivas.

15 Como alternativa, las Mx segundas estructuras multicapa de la segunda etapa de formación de haces constan de un reflector interno con una orientación desplazada con respecto al reflector interno de las Mx primeras estructuras multicapa de la segunda etapa de formación de haces.

20 Según otra forma de realización del formador multihaz de la invención, la primera etapa de formación de haces consta de Ny primeras estructuras multicapa y de Ny segundas estructuras multicapa, y las primeras fuentes internas de las Ny segundas estructuras multicapa están unidas a las primeras fuentes internas de las Ny primeras estructuras multicapa, constando las Ny segundas estructuras multicapa de la primera etapa de formación de haces de unas primeras fuentes internas desplazadas linealmente con respecto a las primeras fuentes internas de la Ny primeras estructuras multicapa de la primera etapa de formación de haces.

25 Como alternativa, la primera etapa de formación de haces consta de Ny primeras estructuras multicapa y de Ny segundas estructuras multicapa, y las primeras fuentes internas de las Ny segundas estructuras multicapa están unidas a las primeras fuentes internas de las Ny primeras estructuras multicapa, constando las Ny segundas estructuras multicapa de la primera etapa de formación de haces de un reflector interno con una orientación desplazada con respecto al reflector interno de las Ny primeras estructuras multicapa de la primera etapa de formación de haces.

30 De forma opcional, la capa de sustrato única o la primera capa de sustrato y la segunda capa de sustrato de cada estructura multicapa constan de un material dieléctrico.

35 De manera ventajosa, el material dieléctrico es una lente dieléctrica colocada entre el reflector interno y las primeras fuentes internas y las segundas fuentes internas, presentando la lente dieléctrica una superficie periférica convexa y constando de unas inclusiones de agujeros de aire, presentando las inclusiones de agujeros de aire una densidad que aumenta de manera progresiva desde el reflector interno hacia las primeras fuentes internas y las segundas fuentes internas.

40 De forma opcional, la capa de sustrato único o la primera capa de sustrato y la segunda capa de sustrato de cada estructura multicapa constan, además, de un primer material dieléctrico que tiene una primera permitividad dieléctrica, constando el primer material dieléctrico de unas inclusiones de un segundo material dieléctrico que tiene una permitividad dieléctrica más baja que la primera permitividad dieléctrica, presentando las inclusiones una densidad que aumenta desde el reflector interno hacia las primeras fuentes internas y las segundas fuentes internas.

De manera ventajosa, la primera capa y la segunda capa de sustrato de cada estructura multicapa consta de unos medios de deformación del reflector interno.

45 La invención también se refiere a una antena multihaz, que consta al menos de dicho formador multihaz de dos dimensiones y de una red en fases constituida por una multitud de elementos radiantes elementales, estando cada elemento radiante elemental unido a un puerto de entrada/salida correspondiente de la primera etapa de formación de haces por medio de una cadena de emisión y de una cadena de recepción de señales de microondas.

Según una forma de realización, la antena consta, además, al menos de un reflector principal, estando la red en fases conectada al formador multihaz de dos dimensiones colocada delante del reflector principal en un plano desenfocado.

50 Según otra forma de realización, la antena consta, además, al menos de un reflector principal y de un reflector auxiliar, presentando el reflector principal y el reflector auxiliar tamaños diferentes y presentando la misma distancia F focal y la red en fases conectada al formador multihaz de dos dimensiones está colocada delante del reflector auxiliar.

55 De manera ventajosa, cada cadena de emisión y de recepción de señales de microondas consta de un desplazador de fase dinámico.

La invención también se refiere a un sistema de telecomunicación por satélite que consta de una antena de este tipo.

Se mostrarán claramente otras particularidades y ventajas de la invención en la siguiente descripción dada a título de ejemplo meramente ilustrativo y no limitativo, en referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos que representan:

- 5     – figura 1a: un esquema en perspectiva de un ejemplo de formador BFN multihaz de dos dimensiones, según la invención;
- figura 1b: un esquema de un ejemplo de conexiones entre el formador multihaz de la figura 1a y una red en fases, según la invención;
- 10    – figura 2a: un esquema despiezado, en perspectiva, de un primer ejemplo de estructura multicapa de un tramo de BFN, según la invención;
- figura 2b: un esquema despiezado, en perspectiva, de un segundo ejemplo de estructura multicapa de un tramo de BFN, según la invención;
- figura 2c: un esquema despiezado, en perspectiva, de una variante de realización del primer ejemplo de estructura multicapa de un tramo de BFN, según la invención;
- 15    – figura 2d: un esquema despiezado, en perspectiva, de una variante de realización del segundo ejemplo de estructura multicapa de un tramo de BFN, según la invención;
- figura 2e: una vista esquemática desde arriba de un ejemplo de dieléctrico que consta de unas inclusiones de agujeros de aire, según una variante de realización de la invención;
- 20    – figura 3: un ejemplo esquemático en sección de un reflector que consta de unos medios de deformación en su cara trasera;
- figuras 4a y 4b: dos esquemas que ilustran las conexiones entre los tramos de BFN de las dos etapas de formación de haces;
- figuras 5a, 5b, 5c: tres esquemas que ilustran un segundo ejemplo de formador multihaz de dos dimensiones que permite mejorar el recubrimiento entre los puntos en la primera dirección del espacio, según la invención;
- 25    – figura 6: un esquema de un tercer ejemplo de formador multihaz de dos dimensiones que permiten mejorar el recubrimiento entre los puntos en la segunda dirección del espacio, según la invención;
- figura 7a: un esquema de un cuarto ejemplo de formador multihaz de dos dimensiones que permite mejorar el recubrimiento entre los puntos en la primera dirección del espacio y en la segunda dirección del espacio, según la invención;
- 30    – figura 7b: un ejemplo que ilustra el recubrimiento de los puntos en el caso de una red en malla hexagonal;
- figura 8a: un esquema que ilustra el funcionamiento de un primer ejemplo de antena de red generadora de imágenes que consta de un formador multihaz, según la invención;
- figuras 8b y 8c: dos esquemas que ilustran el funcionamiento de un segundo ejemplo de antena de red generadora de imágenes que consta de un formador multihaz, según la invención;
- 35    – figura 8d: un esquema que ilustra un ejemplo de cadenas de emisión y de recepción conectadas a un formador multihaz y que consta de unos desplazadores de fase dinámicos, según la invención;
- figura 9: un esquema de un segundo ejemplo de realización de una antena de red generadora de imágenes que consta de un formador multihaz de dos dimensiones, según la invención.

40     Según el ejemplo de realización de la invención representado en las figuras 1a y 1b, el formador multihaz (en inglés: *Beam Forming Network*) de dos dimensiones consta de una primera etapa de formación de haces apta, en la emisión, para formar unos haces de señales focalizadas en una primera dimensión del espacio, por ejemplo paralela a un eje X y una segunda etapa de formación de haces conectada a la primera etapa de formación de haces, siendo la segunda etapa de formación de haces apta, en la emisión, para focalizar los haces formados por la primera etapa de formación de haces, en una segunda dimensión del espacio, por ejemplo paralela a un eje Y. Como se representa en la figura 1b, los ejes X e Y están unidos a los elementos 30 radiantes de una red 41 en fases a la cual el formador multihaz está destinado a unirse y pueden no ser ortogonales. La orientación de estos ejes X e Y depende de las conexiones, parcialmente representadas en la figura 1b, entre los elementos radiantes de la red en fases y los puertos 27 de entrada/salida del formador multihaz a los cuales estos elementos 30 radiantes están destinados a unirse. En el ejemplo de realización representado en la figura 1b, la red en fases consta de una malla de forma rectangular, pero la invención no está limitada a esta forma de malla y también se puede aplicar a una red en fases que tiene, por ejemplo, una malla de forma hexagonal o cuadrada.

Las dos etapas de formación de haces constan de unos puertos 25, 26 correspondientes conectados de dos en dos, llamados puertos de unión a continuación en la descripción. Cada etapa de formación de haces consta al menos de dos estructuras planas de formación de haces, llamadas tramos de BFN, P11 a P1 NY y P21 a P2Mx, donde Ny y Mx son unos números enteros superiores a uno, estando los tramos de BFN apilados en paralelo unos sobre los otros en un eje perpendicular al plano U, V, respectivamente U', V', de la estructura plana. Cada tramo de BFN P1 Nk de la primera etapa de formación de haces, en la que Nk es un número entero comprendido entre 1 y Ny incluidos, consta de Nx puertos 27 de entrada/salida, donde Nx es un número entero superior a uno, destinados a conectarse a Nx elementos 30 radiantes de una red 41 en fases de una antena de haces múltiples por medio de cadenas de emisión y de recepción para la emisión de haces de señales sintetizadas por el formador multihaz hacia diferentes zonas de cobertura en tierra y para la recepción de haces de señales que provienen de diferentes zonas

de cobertura en tierra. Cada tramo de BFN P2Mi de la segunda etapa de formación de haces, donde Mi es un número entero comprendido entre 1 y Mx incluidos, consta de My puertos 28 de entrada/salida, donde My es un número entero superior a uno, destinados en la emisión, a conectarse a una alimentación de señales de microondas y, en la recepción, a recibir las señales separadas por el formador multihaz. El formador multihaz de dos dimensiones consta, por lo tanto, de Nx\*Ny puertos 27 de entrada/salida destinados a conectarse a Nx\*Ny elementos radiantes de una antena y Mx\*My puertos 28 de entrada/salida destinados a unirse a una alimentación de señales de microondas y que permite formar Mx\*My puntos en tierra. En el caso de una realización con tecnología de las guías de onda metálicas, los puertos 27, 28 de entrada/salida son unos accesos de guías de onda mientras que, en el caso de una realización con tecnología de circuitos integrados, los puertos 27, 28 de entrada/salida son unos conectores. Los Ny tramos de BFN de la primera etapa P11 a P1 Ny y los Mx tramos de BFN de la segunda etapa P21 a P2Mx del formador multihaz tienen una estructura idéntica y funcionan de la misma forma, pero pueden tener un número de puertos 27, 28 de entrada/salida diferente y, por lo tanto, un número de vías de emisión/recepción diferente.

En la forma de realización representada en las figuras 1a y 1b, las dos etapas de formación de haces están dispuestas a lo largo de dos planos UV, U'V' perpendiculares entre sí, pero esto no es indispensable. Para que los haces de señales sintetizadas en la emisión por el formador de haces se focalicen en las dos dimensiones X, Y del espacio, es por el contrario necesario conectar cada puerto 25 de unión de un mismo Nkésimo tramo de BFN P1 Nk de la primera etapa de formación de haces a un Nkésimo puerto 26 de unión correspondiente de uno de los diferentes tramos de BFN P21 a P2Mx de la segunda etapa de formación de haces.

La figura 2a representa un esquema despiezado, en perspectiva, de un ejemplo de tramo de BFN, según una primera forma de realización de la invención. En este ejemplo, el tramo de BFN consta de una estructura plana multicapa que consta de dos planos metálicos paralelos, respectivamente inferior 14 y superior 10, y una capa 9 de sustrato intercalada entre los dos planos metálicos, inferior 14 y superior 10. Los dos planos metálicos y la capa de sustrato del tramo de BFN son paralelos a un plano UV. La estructura multicapa así constituida forma un medio de propagación en una configuración de tres placas. La altura del tramo de BFN está dispuesta en un eje W ortogonal al plano UV. La capa 9 de sustrato consta de dos redes de puertos 27, 25 de entrada /salida, según si el tramo de BFN se utiliza en la emisión o en la recepción, dispuestos ortogonalmente a lo largo de los ejes V y U. En el ejemplo de la figura 2a, las dos redes de puertos de entrada/salida constan respectivamente de cuatro puertos 27 de entrada/salida alineados según la dirección V y de dos puertos 25 de entrada/salida alineados según la dirección U. Los puertos 25, 27 de entrada/salida están acoplados por medio de un reflector 16 interno dispuesto transversalmente en la capa 9 de sustrato, extendiéndose el reflector 16 interno desde el plano 14 metálico inferior al plano 10 metálico superior. Cada puerto 27, 25 de entrada/salida está conectado a una guía 20, 19 de onda unida a una fuente 15 interna, respectivamente 18. Las guías 20, 19 de onda se pueden extender en paralelo unas al lado de otras o estar separadas entre sí y pueden tener una sección transversal rectangular o un perfil curvado. Las fuentes 15, 18 internas se pueden alinear unas al lado de las otras o disponerse a lo largo de un contorno curvo con el fin de optimizar los rendimientos de la antena multihaz.

La figura 2b representa un esquema despiezado, en perspectiva, de un ejemplo de tramo de BFN, según una segunda forma de realización de la invención. En este ejemplo, el tramo de BFN tiene una estructura plana multicapa de tipo Pill-box. Esta consta de tres planos metálicos paralelos, respectivamente inferior 14, intermedio 12 y superior 10, de una primera capa 11 de sustrato y de una segunda capa 13 de sustrato, estando cada capa 11, 13 de sustrato respectivamente intercalada entre dos planos metálicos paralelos sucesivos, separando el plano 12 metálico intermedio las dos capas 11, 13 de sustrato. Los planos de las diferentes capas del tramo de BFN son paralelos a un plano UV. La estructura multicapa así constituida forma dos medios de propagación en una configuración denominada de tres placas, constando cada medio de propagación de tres placas de una capa de sustrato dispuesta entre dos planos metálicos. La altura del tramo de BFN está dispuesta a lo largo de un eje W ortogonal al plano UV. Las dos capas 11, 13 de sustrato están acopladas por un reflector 16 interno dispuesto transversalmente en las dos capas 11, 13 de sustrato del tramo de BFN, extendiéndose el reflector 16 interno desde el plano 14 metálico inferior al plano 10 metálico superior, y por medio de una abertura o de varias ranuras 17 de acoplamiento que se extienden a lo largo del reflector 16 interno y realizadas en el plano 12 metálico intermedio que separa las dos capas 11, 13 de sustrato.

La estructura multicapa consta de dos redes de puertos de entrada/salida, según si el tramo de BFN se utiliza en la emisión o en la recepción, dispuestos ortogonalmente a lo largo de los ejes U y V. En el ejemplo de la figura 2b, las dos redes de puertos de entrada/salida constan respectivamente de cuatro puertos 27 de entrada/salida alineados según la dirección V y de dos puertos 25 de entrada/salida alineados según la dirección U. Cada puerto 27, 25 de entrada/salida está conectado a una guía 20, 19 de onda unida a una fuente 15, 18 interna. Las guías 19 de onda de la segunda capa 13 de sustrato están de manera preferente acodadas a 90°, de modo que unen unas fuentes 18 de entrada/salida y unos puertos 25 de entrada/salida dispuestos a lo largo de unos ejes ortogonales.

Cada tramo de BFN puede funcionar en emisión o en recepción. En recepción, los puertos 27 de entrada/salida están destinados a recibir una señal de microondas incidente y a reemitirla en el primer medio de propagación de tres placas del tramo de BFN que combina las señales reemitidas por todas las primeras fuentes 15 internas. El reflector 16 interno refleja la señal combinada y la focaliza en su plano focal en una de las segundas fuentes 18 internas del tramo de BFN en función de la dirección de llegada de la señal incidente.

En la emisión, se aplica una señal de excitación en una de las segundas fuentes 18 internas del tramo de BFN, y a continuación se refleja en el reflector 16 interno. La energía de la señal reflejada por el reflector 16 interno se propaga en el medio de propagación de tres placas y a continuación se reparte en todas las primeras fuentes 15 internas del tramo de BFN. Las primeras fuentes 15 internas transmiten esta energía en forma de haces de señales a los primeros puertos 27 de entrada/salida a los cuales están respectivamente unidas.

Los puertos 27 de entrada/salida unidos a las primeras fuentes 15 internas están dispuestos en una misma línea paralela a la dirección V, los haces de señales emitidas en cada primer puerto 27 de entrada/salida del tramo BFN se focalizan según una única dimensión del espacio, por ejemplo paralela a la dirección Y, y forman una línea de zonas de cobertura en tierra llamadas puntos. El número de puntos formado en el suelo es igual al número de puertos 25 de entrada/salida colocados en el plano focal del reflector 16 interno del tramo de BFN.

En la figura 2b, se representan cuatro puertos 27 de entrada/salida en la primera capa 11 de sustrato y dos puertos 25 de entrada/salida en la segunda capa 13 de sustrato lo que permite elaborar dos haces diferentes que corresponden a dos direcciones de apuntamiento diferentes y a la formación de dos puntos en tierra.

Al estar los puertos 27 de entrada/salida unidos a las primeras fuentes 15 internas de un mismo tramo de BFN dispuestos según una misma línea, los puntos formados en tierra por un tramo de BFN están alineados.

La capa 9 de sustrato o las primeras y segundas capas 11, 13 de sustrato del tramo de BFN pueden constar de un dieléctrico. En este caso, el tramo de BFN se puede realizar utilizando la tecnología de las tarjetas de circuitos impresos PCB (en inglés *Printed Circuit Board*). Según esta tecnología, conocida con el nombre SIW (en inglés: *Substrate Integrated Waveguide*) o con el nombre de laminado (en inglés: *laminated*), el reflector 16 interno, las paredes transversales de las primeras fuentes 15 internas y, llegado el caso, de las segundas fuentes 18 internas, y las paredes transversales de las guías 19, 20 de onda se realizan disponiendo de forma regular unos agujeros metalizados que atraviesan la o las capas 9, 11, 13 de sustrato y que unen las placas metálicas superior 10 e inferior 14, respectivamente las placas superior 10 e intermedia 12, y/o las placas intermedia 12 e inferior 14. La utilización de unos medios de propagación dieléctricos de tres placas permite obtener un formador multihaz muy compacto y con unas dimensiones reducidas. Las excitaciones de los puertos de entrada/salida de las fuentes de microondas internas se realizan por tanto mediante unas transiciones. Sin embargo, esta tecnología induce unas pérdidas de propagación que deben compensarse mediante unos amplificadores dispuestos aguas arriba de las primeras fuentes 15 internas del tramo de BFN.

Según una variante de realización especialmente ventajosa de la invención, la capa 9 de sustrato o las primeras 11 capas de sustrato y las segundas capas 13 de sustrato del tramo de BFN pueden constar de un medio dieléctrico con un gradiente de permitividad dieléctrica, disminuyendo la permitividad dieléctrica progresivamente del reflector 16 interno hacia las primeras fuentes 15 internas y las segundas fuentes 18 internas. A título de ejemplo no limitativo, como se representa en la figura 2c, el gradiente de permitividad dieléctrica se puede obtener utilizando un material dieléctrico con una primera permitividad  $\epsilon_1$  dieléctrica y que consta de unas inclusiones 22 de un material dieléctrico diferente con una permitividad  $\epsilon_2$  dieléctrica más baja que la primera permitividad  $\epsilon_1$  dieléctrica. Para no perturbar la propagación de las señales destinadas a propagarse en el tramo de BFN, las inclusiones 22 deben tener unas dimensiones b inferiores a la longitud de onda de dichas señales y las distancias d que separan dos inclusiones consecutivas deben ser inferiores a la longitud de onda de dichas señales. La densidad de las inclusiones aumenta desde el reflector 16 hacia las primeras fuentes 15 internas y las segundas fuentes 18 internas del tramo de BFN para que la permitividad dieléctrica disminuya cada vez más al acercarse a las primeras fuentes 15 internas y a las segundas fuentes 18 internas.

Cuando el tramo de BFN se realiza con tecnología SIW, el gradiente de permitividad dieléctrica se puede obtener por ejemplo mediante unas inclusiones 22 de agujeros de aire preparados en el medio dieléctrico. En este caso, los agujeros de aire no están metalizados y se pueden realizar mediante unas perforaciones que desembocan a través de la placa 10 metálica superior, aumentando la densidad de los agujeros de aire desde el reflector 16 hacia las primeras fuentes 15 internas y las segundas fuentes 18 internas del tramo de BFN para reducir la permitividad dieléctrica cerca de las fuentes internas. En este caso, al haberse destruido locamente el depósito metálico de la placa 10 metálica superior con la perforación de los agujeros de aire, es necesario realizar un depósito adicional de una capa de dieléctrico por encima de la placa 10 metálica superior y un depósito de una capa metálica adicional por encima de la capa de dieléctrico adicional para reconstituir la estanqueidad del medio de propagación.

De manera ventajosa, el gradiente de permitividad dieléctrico se puede obtener utilizando un medio dieléctrico constituido por ejemplo por una lente 21 dieléctrica con una periferia convexa, que tiene una permitividad  $\epsilon_1$  dieléctrica superior a la permitividad dieléctrica del aire, y que consta de unas inclusiones 22, como se representa por ejemplo en las figuras 2d y 2e. Las inclusiones 22 pueden, por ejemplo, ser unas inclusiones de agujeros de aire, aumentando el diámetro y/o la densidad de las inclusiones 22 progresivamente desde el reflector interno hacia las fuentes 15, 18 internas.

La utilización de un medio dieléctrico que tiene un gradiente de permitividad en la o las primeras y segundas capas 9, 11, 13 de sustrato del tramo de BFN presenta la ventaja de curvar la dirección de propagación de las señales y, por lo tanto, de poder utilizar unas primeras fuentes 15 internas y unas segundas fuentes 18 internas menos

directivas. Las primeras fuentes 15 internas y las segundas fuentes 18 internas son, por tanto, de tamaño reducido, el formador multihaz es más compacto y el recubrimiento de los haces sintetizados es mejor.

De manera ventajosa, cada tramo de BFN puede constar de unos medios de deformación que permiten modificar la forma del reflector 16 interno en la estructura multicapa de dicho tramo de BFN, como se representa por ejemplo en la figura 3. Estos medios de deformación pueden, por ejemplo, constar de un conjunto 23 de pistones asociados a unos actuadores, estando los pistones regularmente repartidos en la cara trasera del reflector 16, siendo la cara trasera del reflector la cara del reflector opuesta a la cara que refleja las ondas de microondas. Los medios de deformación del reflector 16 permiten de este modo optimizar la forma del reflector 16 interno y asegurar de forma eficaz la focalización de las señales, en las segundas fuentes 18 de cada tramo de BFN, en función de su dirección de llegada en las primeras fuentes 15 internas. Los medios de deformación del reflector 16 permiten también realizar unos haces con contornos formados de cualquier forma previamente seleccionada. Las deformaciones del reflector interno pueden, por ejemplo, ser diferentes de un tramo de BFN a otro tramo de BFN para realizar unos haces de contornos de formas diferentes.

En las figuras 4a y 4b, la primera etapa del formador de haces consta de  $N_x \times N_y$  puertos de entrada/salida de haces de señales destinados a conectarse a  $N_x \times N_y$  elementos 30 radiantes de una antena multihaz. La segunda etapa del formador de haces consta de  $M_x \times M_y$  puertos de entrada/salida de señales que permiten, en la emisión, formar  $M_x \times M_y$  haces focalizados en las dos direcciones X e Y del espacio que corresponden a  $M_x \times M_y$  puntos en tierra.  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $M_x$ ,  $M_y$  son unos números enteros superiores a 1.

La primera etapa de formación de haces consta de  $N_y$  tramos de BFN, P11, ...P1Ny, superpuestos unos sobre otros, constando cada tramo de BFN P1 Nk de la primera etapa de  $N_x$  puertos de entrada/salida, 271 a 27Nx, de haces de señales y  $M_x$  puertos de unión, 251 a 25Mx, conectados respectivamente a  $M_x$  tramos de BFN, P21 a P2Mx, de la segunda etapa.

La segunda etapa de formación de haces consta de  $M_x$  tramos de BFN, P21 a P2Mx, superpuestos unos sobre otros, constando cada tramo de BFN P2Mi de la segunda etapa de formación de haces de  $N_y$  puertos de unión, 261 a 26Ny, conectados respectivamente en los  $N_y$  tramos de BFN, P11 a P1Ny, de la primera etapa y  $M_y$  puertos de entrada/salida, 281 a 28My destinados, en la emisión, a alimentarse con unas señales de excitación, y en la recepción, a recibir unas señales focalizadas en las dos dimensiones del espacio X e Y por las dos etapas del formador multihaz. En el ejemplo de la figura 4a,  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $M_x$  y  $M_y$  son iguales a dos y permiten formar dos líneas de dos haces que corresponden a cuatro puntos en tierra, 1 a 4.

Los  $N_y$  tramos de BFN, P11 a P1Ny, de la primera etapa constan de  $N_y \times M_x$  puertos de unión conectados respectivamente a  $M_x \times N_y$  puertos de unión correspondientes de los  $M_x$  tramos de BFN, P21 a P2Mx, de la segunda etapa. Como se muestra en la figura 4b, el primer tramo de BFN, P11, de la primera etapa consta de  $M_x$  puertos de unión, 251 a 25Mx, unidos a los primeros puertos 261 de unión de cada uno de los  $M_x$  tramos de BFN, P21 a P2Mx, de la segunda etapa, y así sucesivamente, cada Nkésimo tramo de BFN P1 Nk de la primera etapa consta de  $M_x$  puertos de unión unidos al Nkésimo puerto 26Nk de unión (no representado) de cada uno de los  $M_x$  tramos de BFN, P21 a P2Mx, de la segunda etapa, hasta el último tramo de BFN, P1 Ny, de la primera etapa que consta de  $M_x$  puertos de unión unidos a los últimos puertos de unión, 26Ny, de cada uno de los  $M_x$  tramos de BFN, P21 a P2Mx, de la segunda etapa.

En el ejemplo de realización representado en las figuras 1a y 1b, la primera etapa de formación de haces consta de tres tramos de BFN, constando cada tramo de BFN de cinco puertos de entrada/salida y de cinco puertos de unión. La segunda etapa de formación de haces consta de cinco tramos de BFN, constando cada tramo de BFN de tres puertos de entrada/salida y de tres puertos de unión, estando los cinco puertos de unión de cada tramo de BFN de la primera etapa de formación de haces respectivamente conectados a uno de los tres puertos de unión correspondiente de los cinco tramos de BFN diferentes de la segunda etapa. Este formador de haces permite sintetizar  $3 \times 5 = 15$  haces diferentes focalizados en las dos direcciones X e Y del espacio.

El formador multihaz de dos dimensiones puede funcionar en emisión y/o en recepción. Es posible utilizar un único formador de haces que funciona en la emisión y en la recepción o en una alternativa utilizar dos formadores de haces diferentes, funcionando uno en la emisión y el otro en la recepción. En el caso de que se utilice un único formador de haces para la emisión y la recepción de señales, la conmutación entre la emisión y la recepción se puede realizar, por ejemplo, bien a partir de las frecuencias de las señales, estando las frecuencias de emisión y las frecuencias de recepción situadas en unas bandas de frecuencia diferentes, bien mediante una secuenciación temporal predeterminada, o mediante cualquier otro método conocido.

En recepción, las primeras fuentes 15 internas reciben una señal transmitida por los elementos 30 radiantes de una red en fases y reemiten la energía de la señal recibida en cada tramo de BFN de la primera etapa de formación de haces. En los tramos de BFN de la primera etapa de formación de haces, la energía se focaliza una primera vez, en una primera dimensión del espacio, en una de las segundas fuentes 18 de la primera etapa por medio del reflector 16 interno, la segunda fuente 18 que recoge la energía focalizada depende de la dirección de llegada de la señal. A continuación, se transmite la señal focalizada en la primera dimensión del espacio a una de las primeras fuentes 15 internas de cada tramo de BFN de la segunda etapa de formación de haces. En cada tramo de BFN de la segunda

etapa, el haz se focaliza una segunda vez, de la misma forma que en la primera etapa, en una segunda dimensión del espacio perpendicular a la primera dimensión del espacio, en una de las segundas fuentes 18 de uno de los tramos de BFN de la segunda etapa y se transmite al puerto 28 de entrada/salida al cual está unida. Al tener los tramos de BFN de la segunda etapa una estructura idéntica a la de los tramos de BFN de la primera etapa, la focalización del haz se realiza según el mismo principio en las dos etapas.

En la emisión, se aplica una señal de excitación en uno de los puertos 28 de entrada/salida de la segunda etapa de formación de haces y se transmite, por medio de la segunda fuente 18 a la cual está conectado, en el interior del tramo de BFN correspondiente. En el tramo de BFN, se guía la señal dentro de la guía 19 de onda unida a la segunda fuente 18 y a continuación se refleja sobre el reflector 16 interno. La energía reflejada por el reflector 16 interno se reparte a continuación en todas las primeras fuentes 15 del tramo de BFN de la segunda etapa y a continuación se transmite a una de las segundas fuentes 18 de cada tramo de BFN de la primera etapa a las cuales están respectivamente conectadas las primeras fuentes 15 del tramo de BFN de la segunda etapa. Las energías de los haces de señales transmitidas a las segundas fuentes 18 de los tramos de BFN de la primera etapa se reflejan a continuación por el reflector 16 interno de los tramos de BFN de la primera etapa y a continuación se reparten en todas las primeras fuentes 15 de los tramos de BFN de la primera etapa de formación de haces. Los haces de señales sintetizadas por el formador de haz se transmiten por tanto a todos los elementos 30 radiantes de la red en fases a los cuales las primeras fuentes 15 de la primera etapa de formación de haces están conectadas y a continuación se emiten los haces de señales hacia unas zonas de cobertura en tierra que constituyen los puntos.

Para obtener una buena cobertura en tierra, es preciso que dos puntos consecutivos se recubran parcialmente. Si el recubrimiento entre dos puntos consecutivos es insuficiente, como se representa por ejemplo en la figura 4a que muestra cuatro puntos, 1 a 4, separados unos de otros y que no se recubren, la cobertura en tierra presenta unos agujeros. Para mejorar el recubrimiento entre los puntos, la invención consiste en añadir unos tramos de BFN suplementarios que permiten obtener unos puntos suplementarios entre dos puntos consecutivos iniciales de una misma línea y/o para realizar unas líneas de puntos adicionales que se intercalan entre dos líneas de puntos iniciales.

El ejemplo de realización ilustrado de forma esquemática en la figura 5a representa dos tramos de BFN de la primera etapa de formación de haces conectados a los mismos elementos radiantes. Al constar este ejemplo de realización solo de una etapa de formación de haces, los haces 1 y 3 correspondientes se focalizan en una única dirección Y y corresponden a dos líneas L1 y L2 de puntos ampliados según la dirección X donde no hay focalización de los haces. Según este ejemplo de realización, como se representa en la figura 5b, unas líneas L'1 y L'2 de puntos adicionales, paralelas a la dirección Y, se añaden a dos líneas L1, L2 de puntos, utilizando dos veces más tramos de BFN de la primera etapa de formación de haces que de elementos radiantes de la red desenfoada y conectando dos tramos de BFN, P'11, diferentes de la primera etapa de formación de haces en cada uno de los elementos 30 radiantes de la red 41 desenfoada. Para una antena de recepción, la adición de los tramos BFN P'11 suplementarios necesita colocar un divisor de señal en la salida de los elementos 30 radiantes de la red en fases, lo que induce unas pérdidas que deben compensarse mediante un amplificador.

Para obtener unas líneas L'1 y L'2 adicionales de puntos es, además, necesario que el segundo tramo de BFN P'11 presente un desplazamiento lineal, por ejemplo de una media malla, correspondiendo una malla al espaciado entre dos primeras fuentes 15' internas con respecto al reflector 16' interno correspondiente. El desplazamiento lineal se puede obtener bien aplicando una traslación a las primeras fuentes 15' internas del segundo tramo de BFN como se representa de forma esquemática en la figura 5c, o bien aplicando una rotación al reflector 16' interno del segundo tramo de BFN para cambiar su orientación, no modificándose por tanto la posición de unas primeras fuentes 15' internas. En la figura 5c, el segundo tramo de BFN, P'11, de la primera etapa consta de unas primeras fuentes 15' internas desplazadas linealmente a lo largo del eje V perpendicular a la dirección U longitudinal del tramo de BFN con respecto a las primeras fuentes 15 internas del primer tramo de BFN, P11, de la primera etapa conectada al mismo elemento 30 radiante. El desplazamiento lineal corresponde a una traslación de todas las primeras fuentes 15' internas una misma distancia T inferior a la distancia entre los centros de dos primeras fuentes 15 consecutivas. El desplazamiento T lineal puede, por ejemplo, ser igual a la mitad de la distancia entre los centros de dos primeras fuentes consecutivas, es decir a una media malla. En el caso de un formador de haces de dos etapas, la segunda etapa de formación de haces, no representada en la figura 5a, consta también de dos veces más tramos de BFN, estando cada tramo de BFN de la segunda etapa conectado al conjunto de los tramos de BFN de la primera etapa por medio de unos puertos de unión, como se ha indicado con anterioridad en relación con las figuras 4a y 4b.

En el ejemplo de realización de la figura 6, el número de líneas de puntos se mantiene sin cambios, pero se añaden unos puntos 5, 6, 7, 8 adicionales en cada línea L1, L2 de puntos, estando cada punto adicional intercalado entre dos puntos 1, 2, 3, 4 consecutivos iniciales, de forma que se rellenen los agujeros de cobertura en tierra en cada línea de puntos. Para ello, solo se duplica el número de tramos de BFN de la segunda etapa de formación de haces, el número de tramos de BFN de la primera etapa no se cambia. Cada puerto de unión, 251 a 25Mx, de los tramos de BFN, P11 a P1Ny, de la primera etapa está por tanto unido a un puerto de unión, 261 a 26Ny, de un primer tramo de BFN, P21 a P2Mx, de la segunda etapa de formación de haces y a un puerto de unión, 26'1 a 26'Ny, de un segundo tramo de BFN, P'21 a P'2Mx, de la segunda etapa. Como en el caso descrito en relación con la figura 5c, el segundo tramo de BFN, P'21 a P'2Mx, de la segunda etapa consta de unas primeras fuentes 15' internas desplazadas linealmente a lo largo del eje V perpendicular a la dirección U longitudinal del segundo tramo de BFN con respecto a

las primeras fuentes 15 interna del primer tramo de BFN, P21 a P2Mx, de la segunda etapa conectada en el mismo puerto de unión de la primera etapa de formación de haces. En una alternativa, las posiciones de las primeras fuentes internas son idénticas para el primer tramo P21 a P2Mx y el segundo tramo P'21 a P'2Mx de BFN de la segunda etapa, pero el reflector 16' interno del segundo tramo P'21 a P'2Mx de BFN de la segunda etapa está desplazado angularmente con respecto al reflector 16 del primer tramo P21 a P2Mx de la segunda etapa.

En el ejemplo de realización de la figura 7a, se añaden unos puntos adicionales y unas líneas adicionales. Para la adición de las líneas L'1 y L'2 adicionales, el número de tramos de BFN de la primera etapa de formación de haces y el número de tramos de BFN de la segunda etapa de formación de haces se duplican como se ha indicado en relación con la figura 5a y, además, para la adición de unos puntos adicionales en cada línea L1, L2, L'1, L'2 de puntos el número de tramos de BFN de la segunda etapa de formación de haces se duplica de nuevo como se ha indicado en relación con la figura 6. En total, el número de tramos de BFN de la primera etapa P11 a P1 Ny, P'11 a P'1 Ny se duplica y el número de tramos de BFN de la segunda etapa P21 a P2Mx, P'21 a P'2Mx, P''21 a P''2Mx, P'''21 a P'''2Mx se cuadruplica.

Los diferentes ejemplos de realización se han descrito considerando una red en malla rectangular de los puntos. Una red en malla hexagonal, como se representa por ejemplo en la figura 7b, también se puede realizar con la misma configuración de las dos etapas de formación de haces que la que se representa en el ejemplo de realización de la figura 7a. Para ello, es necesario bien desplazar, una media malla, las primeras fuentes internas de los tramos de BFN adicionales P''21 a P''Mx y P'''21 a P'''2Mx, o bien desplazar las segundas fuentes internas de los tramos de BFN adicionales P''21 a P''2Mx y P'''21 a P'''2Mx, o bien modificar la orientación del reflector 16 interno de estos tramos de BFN P''21 a P''2Mx y P'''21 a P'''2Mx adicionales.

Las figuras 8a, 8b y 8c representan tres esquemas que ilustran el funcionamiento de un primer ejemplo (figura 8a) y de un segundo ejemplo (figuras 8b y 8c) de una antena de red generadora de imágenes que consta de un reflector 40 principal, de una red 41 en fases desenfozada colocada delante del reflector 40 principal y de un formador multihaz según la invención. Para simplificar las figuras 8a a 8c y la descripción correspondiente, en estos tres esquemas, la red 41 radiante considerada es una red lineal y solo se considera un único tramo de BFN para la formación de un haz. En la figura 8a, el reflector 16 interno en el tramo de BFN está dispuesto en una configuración offset que corresponde a la primera forma de realización del tramo de BFN descrito en relación con la figura 2a. En las figuras 8b y 8c, el reflector 16 interno en el tramo de BFN refleja las señales en la misma dirección que el haz incidente, lo que corresponde a la segunda forma de realización del tramo de BFN descrito en relación con la figura 2b. En las figuras 8a y 8b, la dirección del haz 33a incidente es normal al reflector 40 principal de la antena mientras que en la figura 8c la dirección del haz 33b incidente está desviada con respecto a la dirección normal. La red 41 en fases está constituida por una multitud de elementos 30 radiantes elementales, estando cada elemento 30 radiante elemental destinado a emitir y/o a recibir unos haces de señales de microondas. Cada elemento radiante 30 elemental está conectado a un puerto 27 de entrada/salida del tramo de BFN por una cadena de emisión y una cadena de recepción de señales de microondas y por medio de unas guías 42 de unión. Cada cadena de emisión y cada cadena de recepción puede constar de un amplificador 31 destinado a ocultar las pérdidas de energía en los tramos de BFN del formador de haz. En la emisión, el amplificador 31 es un amplificador de potencia y en la recepción el amplificador 31 es un amplificador de bajo ruido. De forma opcional, cada cadena de emisión y de recepción también puede constar de un desplazador 32 de fase dinámico, como se representa por ejemplo en la figura 8d, lo que permite en particular compensar las deformaciones del reflector 40 principal de la antena de red generadora de imágenes y los errores estáticos de fabricación y de integración de la antena. Las deformaciones del reflector principal pueden, por ejemplo, deberse a unas variaciones de temperatura o a las inestabilidades de un satélite en el cual está fijada la antena. Los puertos 25 de entrada/salida unidos a las segundas fuentes 18 internas del tramo de BFN están destinados a unirse, en la recepción, a unos medios de tratamiento de las señales recibidas y, en la emisión, a unos medios de excitación.

En recepción, un haz 33a, 33b de señales incidente lo refleja el reflector 40 principal en la red 1 en fases. Al estar la red 41 en fases desenfozada, la energía del haz 34a, 34b reflejado se capta mediante la casi totalidad de los elementos 30 radiantes de la red 41 en fases y a continuación se transmite por cada cadena de recepción, a los puertos 27 de entrada/salida, y las guías 42 de unión lo guían hasta el conjunto de las primeras fuentes 15 internas de los tramos de BFN. Las primeras fuentes 15 internas reemiten la energía de la señal recibida en el tramo de BFN, donde la energía se focaliza sobre una de las segundas fuentes 18 por medio del reflector 16 interno y se transmite a uno de los puertos 25 de entrada/salida. El puerto 25 de entrada/salida que recoge la energía focalizada depende de la dirección de llegada de la señal. Como se muestra en las figuras 8b y 8c, para dos direcciones de llegada diferentes, la energía se focaliza en dos puertos 25a, 25b diferentes.

En la emisión, se aplica una señal de excitación en uno de los puertos 25 de entrada/salida y se transmite, por medio de la segunda fuente 18 a la cual está conectada, en el interior del tramo de BFN. En el tramo de BFN, la energía de la señal se refleja sobre el reflector 16 interno y a continuación se reparte en todas las primeras fuentes 15 del tramo de BFN. Los haces de señales sintetizadas por el tramo de BFN se transmiten por tanto a todos los elementos 30 radiantes de la red 41 en fases desenfozada a los cuales están conectadas las primeras fuentes 15 y a continuación se emite hacia el reflector 40 principal de la antena que refleja los haces hacia unas zonas de cobertura en tierra que constituyen los puntos.

La segunda forma de realización de un tramo de BFN que corresponde a las figuras 2b, 8b y 8c permite obtener una antena de red generadora de imágenes más eficiente que utilizando un formador multihaz según la primera forma de realización que corresponde a las figuras 2a y 8a en el cual los tramos de BFN constan de un reflector interno colocado en una configuración offset. En efecto, en la segunda forma de realización de un tramo de BFN, las segundas fuentes 18 internas asociadas a los puertos 25 de entrada/salida están centradas con respecto al reflector 16 interno, lo que mejora el rendimiento en desviación de la antena de red generadora de imágenes ya que la antena constaría de menos aberraciones de fase. Ahora bien, esta configuración óptica solo es posible gracias a la separación, en diferentes capas de sustratos, de las señales incidentes y reflejadas sobre el reflector 16 interno. Con cualquier otro tipo de formador multihaz conocido sería imposible realizar una antena con una configuración equivalente que funcione en un espacio libre ya que la red en fases haría por tanto bloqueo a la señal reflejada por el reflector auxiliar.

Por otra parte, gracias a la presencia del reflector interno en el formador multihaz, y a la posibilidad de añadir un dieléctrico en el tramo de BFN, lo que permite reducir las dimensiones del formador multihaz, la invención presenta la ventaja de poder realizar, en la antena de red generadora de imágenes asociada al formador multihaz, unos trayectos ópticos importantes similares a aquellos que se establecen en una configuración de antena con dos reflectores de tipo Cassegrain minimizado al mismo tiempo las dimensiones de la antena. En este caso el reflector interno al formador multihaz tiene una forma elíptica.

Otra ventaja de la antena de red generadora de imágenes asociada al formador multihaz según la invención, con respecto a la configuración de una antena de tipo Cassegrain equivalente, se refiere a sus prestaciones en radiación. La antena de red generadora de imágenes realizada a partir de un reflector y de una red en fases desenfocada y asociada al formador multihaz según la invención dispone de varios parámetros que permiten optimizar su funcionamiento, como la forma del reflector 40 principal, la disposición de los elementos 30 radiantes de la red 41 en fases, la longitud de las guías 42 de unión, la disposición de las primeras fuentes 15 internas, la forma del reflector 16 interno, y la disposición de las segundas fuentes 15 internas. Estos diferentes grados de libertad se pueden optimizar para minimizar las aberraciones de fase en varias direcciones de llegada, y de este modo extender de forma considerable la cobertura angular de la antena. De este modo es posible anular estas aberraciones en cinco direcciones de llegada diferentes, lo que corresponde a una antena de cinco focos. Por el contrario, la configuración de antena de tipo Cassegrain se puede optimizar únicamente en lo que se refiere a la forma de los reflectores, principal y auxiliar, y de este modo formar únicamente dos focos.

Por último, una última ventaja se basa en la calidad de recubrimiento de los haces. Una antena con reflector que consta de dos fuentes contiguas dispuestas en el plano focal de la antena genera dos haces que se recubren en un bajo nivel, tradicionalmente de -4 a -5 dB. Los mismos problemas de recubrimiento entre haces aparecen para una antena de red generadora de imágenes con un formador multihaz casi óptico según la invención, pero como se ha descrito en relación con las figuras 5a, 6 y 7, la invención permite resolver este problema añadiendo unos tramos de BFN suplementarios en las dos etapas del formador multihaz casi óptico mientras que, en las antenas conocidas, este problema solo se puede resolver multiplicando el número de las antenas utilizadas.

El formador multihaz de dos dimensiones también se puede utilizar en otros tipos de antena, como por ejemplo una red en fases de radiación directa o una antena de red generadora de imágenes que consta de dos reflectores parabólicos externos de tamaños diferentes con la misma distancia focal, como se representa por ejemplo en la figura 9. En el caso de una red con radiación directa, la antena no consta de ningún reflector externo, los haces sintetizados por el formador multihaz se emiten directamente por los elementos radiantes de la red en fases y forman los puntos en tierra. En el caso de una antena de red generadora de imágenes que consta de dos reflectores externos constituidos por un reflector 40 principal, y por un reflector 44 auxiliar de tamaños diferentes con la misma distancia F focal, la red 41 en fases asociada al formador multihaz de dos dimensiones según la invención se coloca delante del reflector 44 auxiliar. En la recepción, un haz de señales incidente sobre el reflector 40 principal se refleja hacia el reflector 44 auxiliar pasando por el plano F focal situado entre el reflector principal y el reflector auxiliar. La señal reflejada una primera vez por el reflector 40 principal y mostrada por el plano F focal la refleja una segunda vez el reflector 44 auxiliar en la red 41 en fases y la focaliza el formador multihaz. En la emisión, los haces sintetizados por el formador multihaz los emite la red en fases y a continuación siguen el camino de propagación inverso al seguido en la recepción.

En los diferentes ejemplos de realización de antenas descritos con anterioridad, un único formador multihaz está conectado a la red en fases. Ahora bien, el formador multihaz solo puede funcionar en una única polarización mientras que la red en fases puede extraer unas señales en dos polarizaciones ortogonales. Igualmente, para obtener una antena multihaz que funciona en dos polarizaciones ortogonales, es necesario utilizar dos formadores multihaz y conectar los elementos radiantes de la red en fases de la antena a los dos formadores multihaz.

**REIVINDICACIONES**

1. Formador multihaz de dos dimensiones, **caracterizado porque:**

- consta de una primera etapa de formación de haces destinada a sintetizar unos haces focalizados en una primera dirección X del espacio y una segunda etapa de formación de haces destinada a focalizar los haces formados por la primera etapa según una segunda dirección Y del espacio, estando las dos etapas conectadas entre sí;
- cada etapa consta al menos de dos estructuras (P11, P12), (P21, P22) planas multicapa superpuestas una sobre otra;
- cada estructura (P11, P12, P21, P22) multicapa de la primera etapa y de la segunda etapa consta de un reflector (16) interno que se extiende transversalmente al plano de la estructura multicapa, al menos de dos primeras fuentes (15) internas dispuestas delante del reflector (16) interno y respectivamente unidas a dos primeros puertos (27, 26) de entrada/salida alineados a lo largo de un primer eje (V, V') de la estructura multicapa, al menos de dos segundas fuentes (18) internas dispuestas en un plano focal del reflector (16) interno y respectivamente unidas a dos segundos puertos (25, 28) de entrada/salida alineados a lo largo de un segundo eje (U, U') de la estructura multicapa perpendicular al primer eje (V,V');
- las dos segundas fuentes (18) internas de la misma estructura (P11) multicapa, respectivamente (P12), de la primera etapa de formación de haces están respectivamente unidas a dos primeras fuentes (15) internas de dos estructuras (P21), (P22) multicapa diferentes de la segunda etapa de formación de haces por medio de unos puertos (25, 26) de entrada/salida, llamados puertos de unión, a los cuales están respectivamente conectadas las segundas y las primeras fuentes (18, 15) internas.

2. Formador multihaz según la reivindicación 1, **caracterizado porque:**

- la primera etapa de formación de haces consta de Ny estructuras (P11, ..., PiNy) multicapa planas superpuestas una sobre otra, constando cada estructura multicapa de la primera etapa de Nx primeras fuentes (15) internas dispuestas delante del reflector (16) interno de la estructura multicapa correspondiente y conectadas a Nx puertos (271 a 27Nx) de entrada/salida alineados en paralelo a un eje V y de Mx segundas fuentes (18) dispuestas en el plano focal del reflector (16) interno correspondiente y conectadas a Mx puertos de unión (251 a 25Mx) alineados en paralelo a un eje U perpendicular al eje V;
- la segunda etapa de formación de haces consta de Mx estructuras (P21 a P2Mx) multicapa planas superpuestas una sobre otra, constando cada estructura (P21 a P2Mx) multicapa de la segunda etapa de formación de haces de Ny primeras fuentes (15) internas dispuestas delante del reflector (16) interno de la estructura multicapa correspondiente y conectadas a Ny puertos (261 a 26Ny) de unión alineados en paralelo a un eje V' y de My segundas fuentes (18) dispuestas en el plano focal del reflector (16) interno correspondiente y conectadas a My puertos de entrada/salida (281 a 28My) alineados en paralelo a un eje U' perpendicular al eje V';
- las Ny estructuras multicapa de la primera etapa constan de Ny\*Mx puertos de unión conectados respectivamente a Mx\*Ny puertos de unión correspondientes de las Mx estructuras multicapa de la segunda etapa, siendo Nx, Ny, Mx, My unos números enteros superiores a 1, estando los puertos de unión de una misma estructura multicapa de la primera etapa de formación de haces respectivamente conectados a unas estructuras multicapa diferentes de la segunda etapa de formación de haces.

3. Formador multihaz según la reivindicación 2, **caracterizado porque** cada puerto (251 a 25Mx) de unión de una Nkésima estructura multicapa de la primera etapa de formación de haces está conectado al Nkésimo puerto de unión de una de las estructuras (P21 a P2Mx) multicapa correspondiente de la segunda etapa de formación de haces, siendo Nk un número entero comprendido entre 1 y Ny incluidos.

4. Formador multihaz según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** cada estructura multicapa consta de un plano (10) metálico superior, de un plano (14) metálico inferior y de una única capa (9) de sustrato intercalada entre el plano (10) metálico superior y el plano (14) metálico inferior, **porque** el reflector (16) interno se extienden transversalmente en la capa (9) de sustrato del plano (14) metálico superior 10 y **porque** la primeras fuentes (15) internas y las segundas fuentes (18) internas de cada estructura multicapa están dispuestas en la capa (9) de sustrato y unidas respectivamente a un primer y a un segundo puerto (27, 25) de entrada/salida, estando el primer y el segundo puerto (27, 25) de entrada/salida dispuesto según dos direcciones (U, V) ortogonales del plano de la capa (9) de sustrato.

5. Formador multihaz según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque:**

- las primeras fuentes (15) internas de cada estructura multicapa están dispuestas en una primera capa (11) de sustrato intercalada entre un plano (10) metálico superior y un plano (12) metálico intermedio, las segundas fuentes (18) están dispuestas en una segunda capa (13) de sustrato intercalada entre el plano (12) metálico intermedio y un plano (14) metálico inferior;
- las primeras capas y las segundas capas (11, 13) de sustrato están acopladas por el reflector (16) interno que se extiende desde el plano (14) metálico inferior al plano (10) metálico superior y por medio de una abertura o de unas ranuras (17) de acoplamiento que se extienden a lo largo del reflector (16) interno y

- realizadas en el plano (12) metálico intermedio que separa las dos capas (11, 13) de sustrato;
- cada estructura multicapa consta, además, de unas primeras guías (19) de onda dispuestas en la segunda capa (13) de sustrato, constanding cada primera guía (19) de onda de una primera parte de guía que se extiende a lo largo de un eje longitudinal de la estructura multicapa y conectada a las segundas fuentes (18) internas y de una segunda parte de guía acodada que se extiende de forma perpendicular al eje longitudinal y unida a un segundo puerto (25) de entrada/salida.
- 5
6. Formador multihaz según una de las reivindicaciones 2 a 5, **caracterizado porque** la segunda etapa de formación de haces consta de Mx primeras estructuras (P21 a P2Mx) multicapa y al menos de Mx segundas estructuras (P'21 a P'2Mx) multicapa y **porque** cada puerto (251 a 25Mx) de unión de la Nkésima estructura (P1 Nk) multicapa de la primera etapa de formación de haces está conectada al Nkésimo puerto de unión de una de las primeras estructuras (P21 a P2Mx) multicapa correspondiente de la segunda etapa de formación de haces y al Nkésimo puerto de unión de una de las segundas estructuras (P'21 a P'2Mx) multicapa de la segunda etapa de formación de haces, siendo Nk un número entero comprendido entre 1 y Ny incluidos.
- 10
7. Formador multihaz según la reivindicación 6, **caracterizado porque** las Mx segundas estructuras (P'21 a P'2Mx) multicapa de la segunda etapa de formación de haces constan de unas primeras fuentes (15) internas desplazadas linealmente con respecto a las primeras fuentes (15') internas de las Mx primeras estructuras multicapa (P21 a P2Mx) de la segunda etapa de formación de haces, correspondiendo el desplazamiento lineal a una traslación de todas las primeras fuentes (15') internas una misma distancia T inferior a una distancia entre los centros de dos primeras fuentes internas consecutivas.
- 15
8. Formador multihaz según la reivindicación 6, **caracterizado porque** las Mx segundas estructuras (P'21 a P'2Mx) multicapa de la segunda etapa de formación de haces constan de un reflector (16') interno que tiene una orientación desplazada con respecto al reflector (16) interno de las Mx primeras estructuras (P21 a P2Mx) multicapa de la segunda etapa de formación de haces.
- 20
9. Formador multihaz según una de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizado porque** la primera etapa de formación de haces consta de Ny (P11,..., P1Ny) primeras y de Ny segundas estructuras (P'11,..., P'1Ny) multicapa y **porque** las primeras fuentes internas de las Ny segundas estructuras (P'11,..., P'1Ny) multicapa están unidas a las primeras fuentes internas de las Ny primeras estructuras multicapa (P'11,..., P'1Ny), constanding las Ny segundas estructuras multicapa de la primera etapa de formación de haces de unas primeras fuentes (15') internas desplazadas linealmente con respecto a las primeras fuentes internas (15) de las Ny primeras estructuras multicapa de la primera etapa de formación de haces.
- 25
- 30
10. Formador multihaz según una de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizado porque** la primera etapa de formación de haces consta de Ny (P11,..., P1Ny) primeras y de Ny segundas estructuras (P'11,..., P'1Ny) multicapa y **porque** las primeras fuentes internas de las Ny segundas estructuras (P'11,..., P'1Ny) multicapa de la primera etapa están unidas a las primeras fuentes internas de las Ny primeras estructuras (P11,..., P1Ny) multicapa de la primera etapa, constanding las Ny segundas estructuras (P'11,..., P'1Ny) multicapa de la primera etapa de formación de haces de un reflector (16') interno que tiene una orientación desplazada con respecto al reflector (16) interno de las Ny primeras estructuras (P11,..., P1Ny) multicapa de la primera etapa de formación de haces.
- 35
11. Formador multihaz según una de las reivindicaciones 4 a 10, **caracterizado porque** la capa (9) de sustrato única o la primera capa (11) de sustrato y la segunda capa (13) de sustrato de cada estructura multicapa constan de un material dieléctrico.
- 40
12. Formador multihaz según la reivindicación 11, **caracterizado porque** el material dieléctrico es una lente (21) dieléctrica colocada entre el reflector (16) interno y las primeras fuentes (15) internas y las segundas fuentes (18) internas, presentando la lente (21) dieléctrica una superficie periférica convexa y que consta de unas inclusiones (22) de agujeros de aire, presentando las inclusiones (22) de agujeros de aire una densidad que aumenta de manera progresiva desde el reflector (16) interno hacia las fuentes (15) internas, primeras y segundas.
- 45
13. Formador multihaz según una de las reivindicaciones 4 a 10, **caracterizado porque** la capa (9) de sustrato único o la primera y la segunda capa (11, 13) de sustrato de cada estructura multicapa constan, además, de un primer material dieléctrico que tiene una primera permitividad ( $\epsilon_1$ ) dieléctrica, constanding el primer material dieléctrico de unas inclusiones (22) de un segundo material dieléctrico que tiene una permitividad ( $\epsilon_2$ ) dieléctrica más baja que la primera permitividad ( $\epsilon_1$ ) dieléctrica, presentando las inclusiones (22) una densidad que aumenta desde el reflector (16) interno hacia las primeras y las segundas fuentes (15, 18) internas.
- 50
14. Formador multihaz según una de las reivindicaciones 4 a 10, **caracterizado porque** la primera capa y la segunda capa de sustrato década estructura multicapa consta de unos medios (23) de deformación del reflector (16) interno.
- 55
15. Antena multihaz **caracterizada porque** consta al menos de un formador multihaz de dos dimensiones según una de las reivindicaciones 1 a 14 y de una red (41) en fases constituida por una multitud de elementos (30) radiantes elementales, estando cada elemento (30) radiante elemental unido a un puerto (27) de entrada/salida

correspondiente de la primera etapa de formación de haces por medio de una cadena de emisión y de una cadena de recepción de señales de microondas.

5 16. Antena multihaz según la reivindicación 15, **caracterizada porque** consta, además, al menos de un reflector (40) principal, estando la red (41) en fases conectada al formador multihaz de dos dimensiones colocada delante del reflector (40) principal en un plano desenfocado.

17. Antena multihaz según la reivindicación 15, **caracterizada porque** consta, además, al menos de un reflector (40) principal y de un reflector (44) auxiliar, presentando el reflector (40) principal y el reflector (44) auxiliar diferentes tamaños y presentando la misma distancia F focal y **porque** la red (41) en fases conectada al formador multihaz de dos dimensiones está colocada delante del reflector (44) auxiliar.

10 18. Antena multihaz según una de las reivindicaciones 16 o 17, **caracterizada porque** cada cadena de emisión y de recepción de señales de microondas consta de un desplazador (32) de fase dinámico.

19. Sistema de telecomunicación por satélite, **caracterizado porque** consta al menos de una antena según una de las reivindicaciones 15 a 18.

15

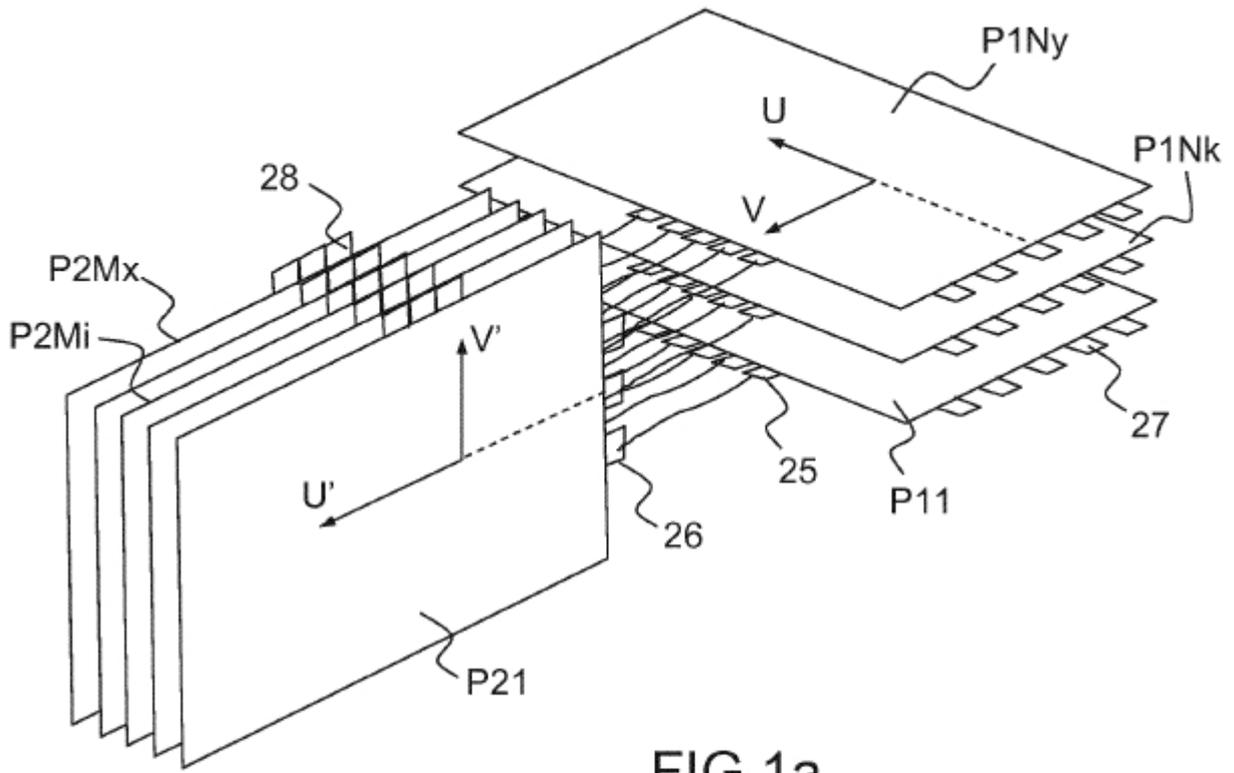


FIG. 1a

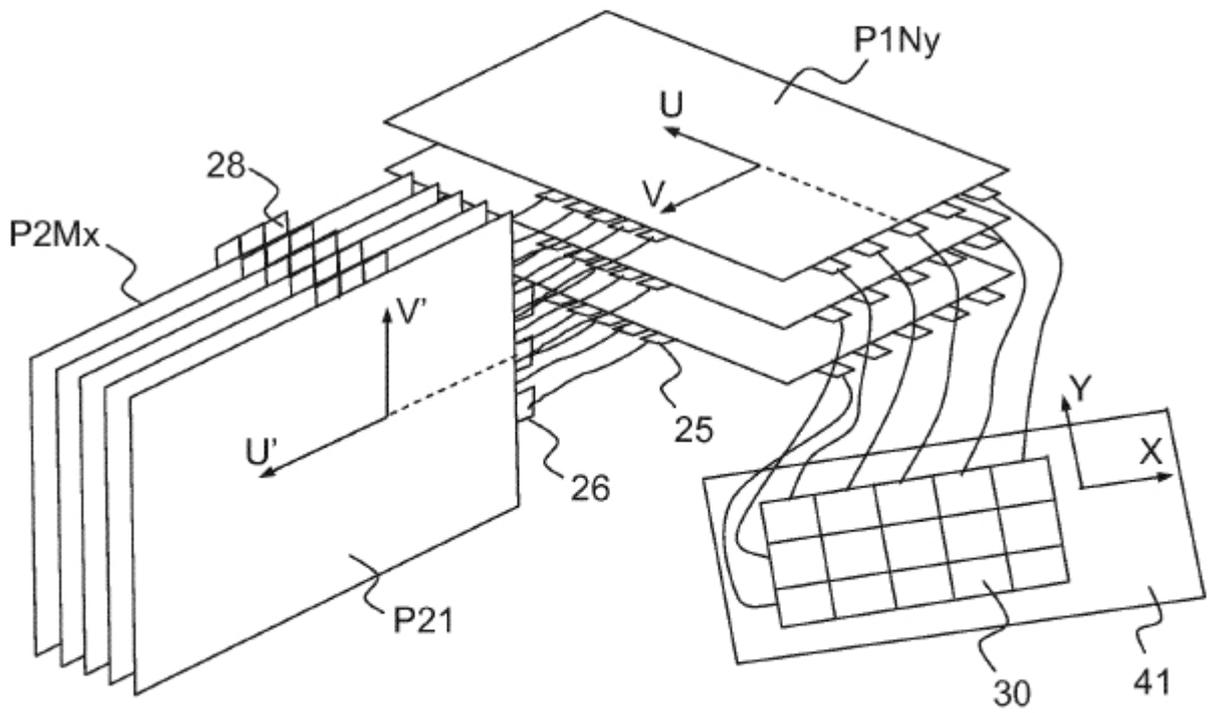


FIG. 1b

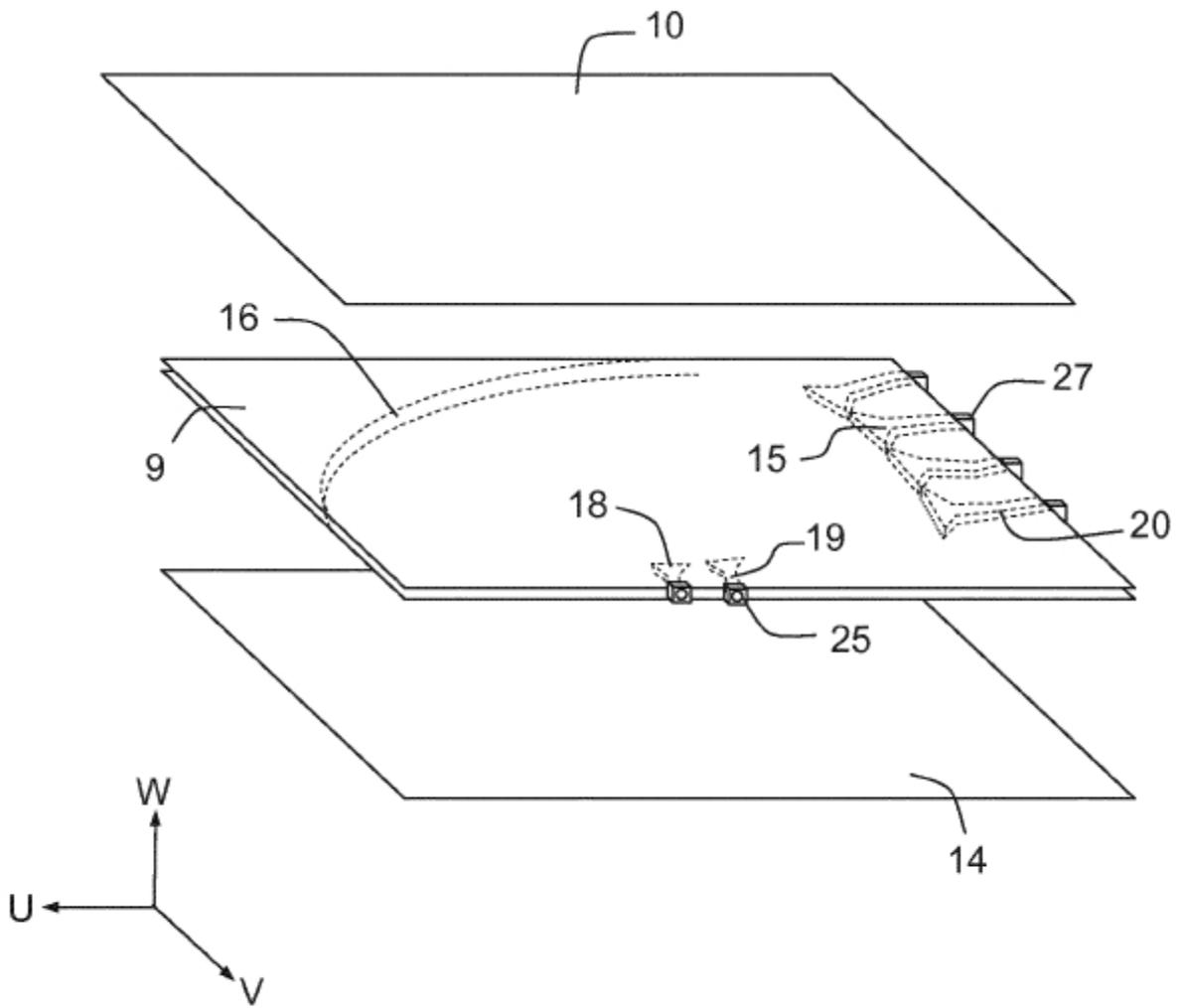


FIG.2a

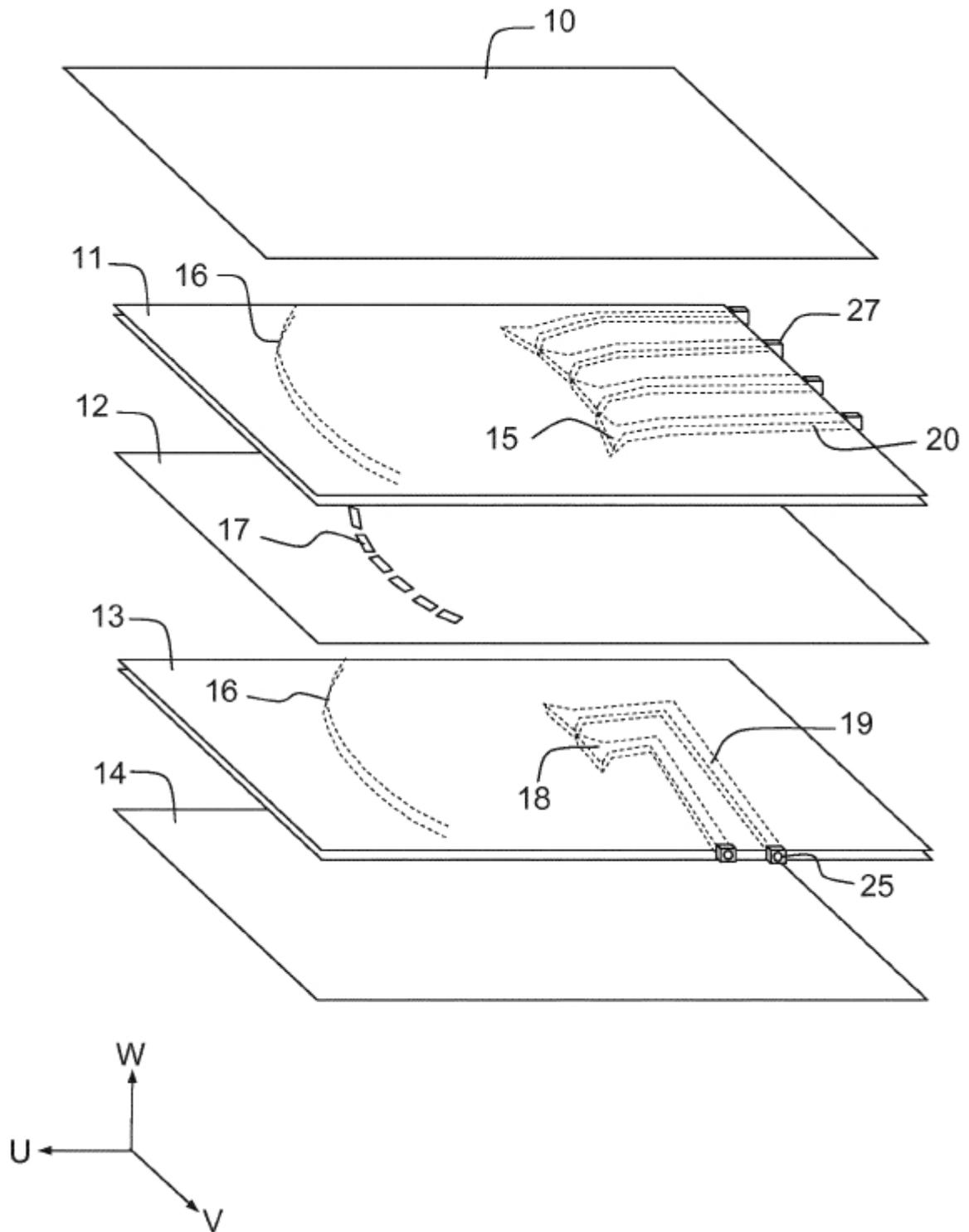


FIG.2b

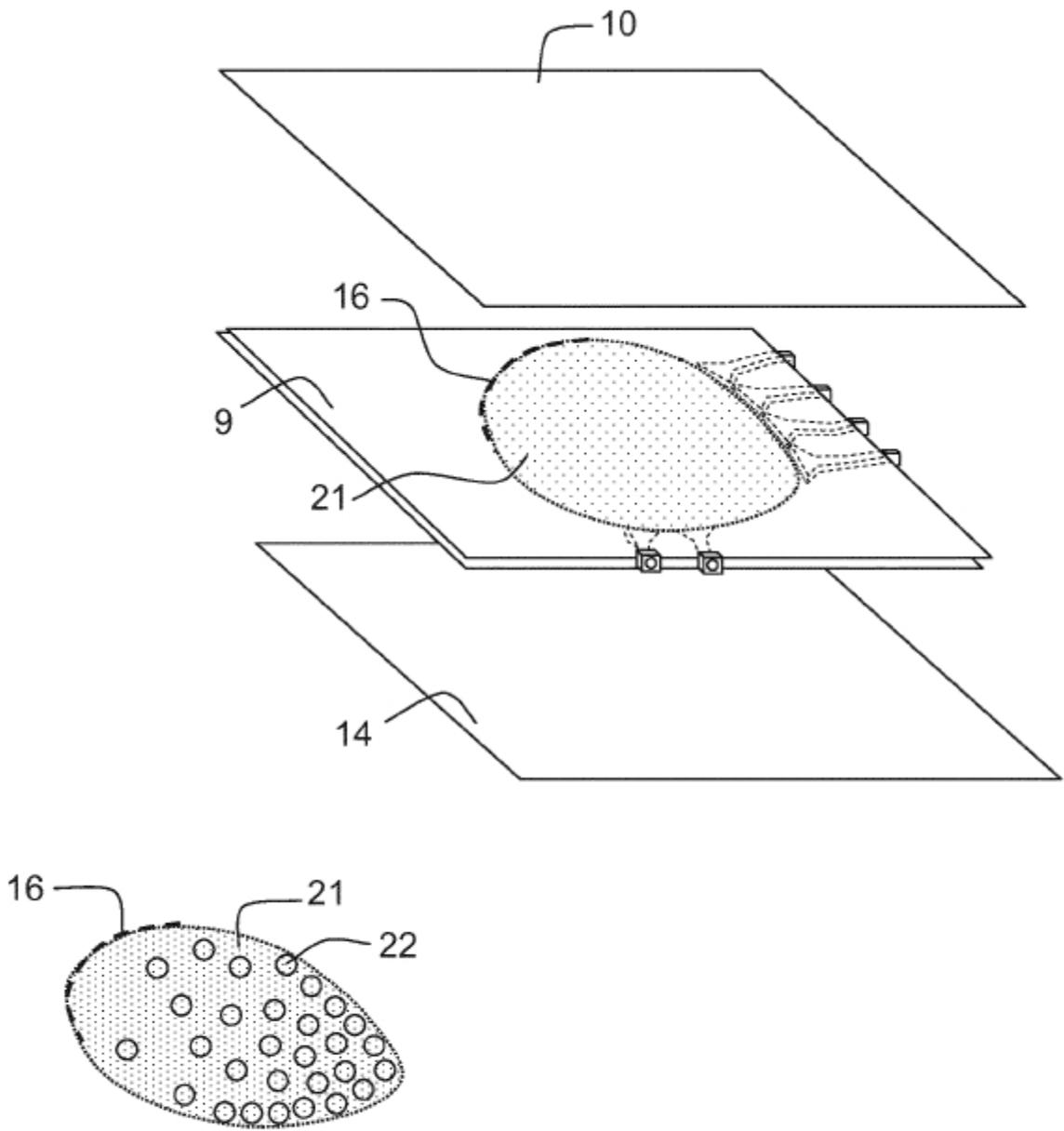
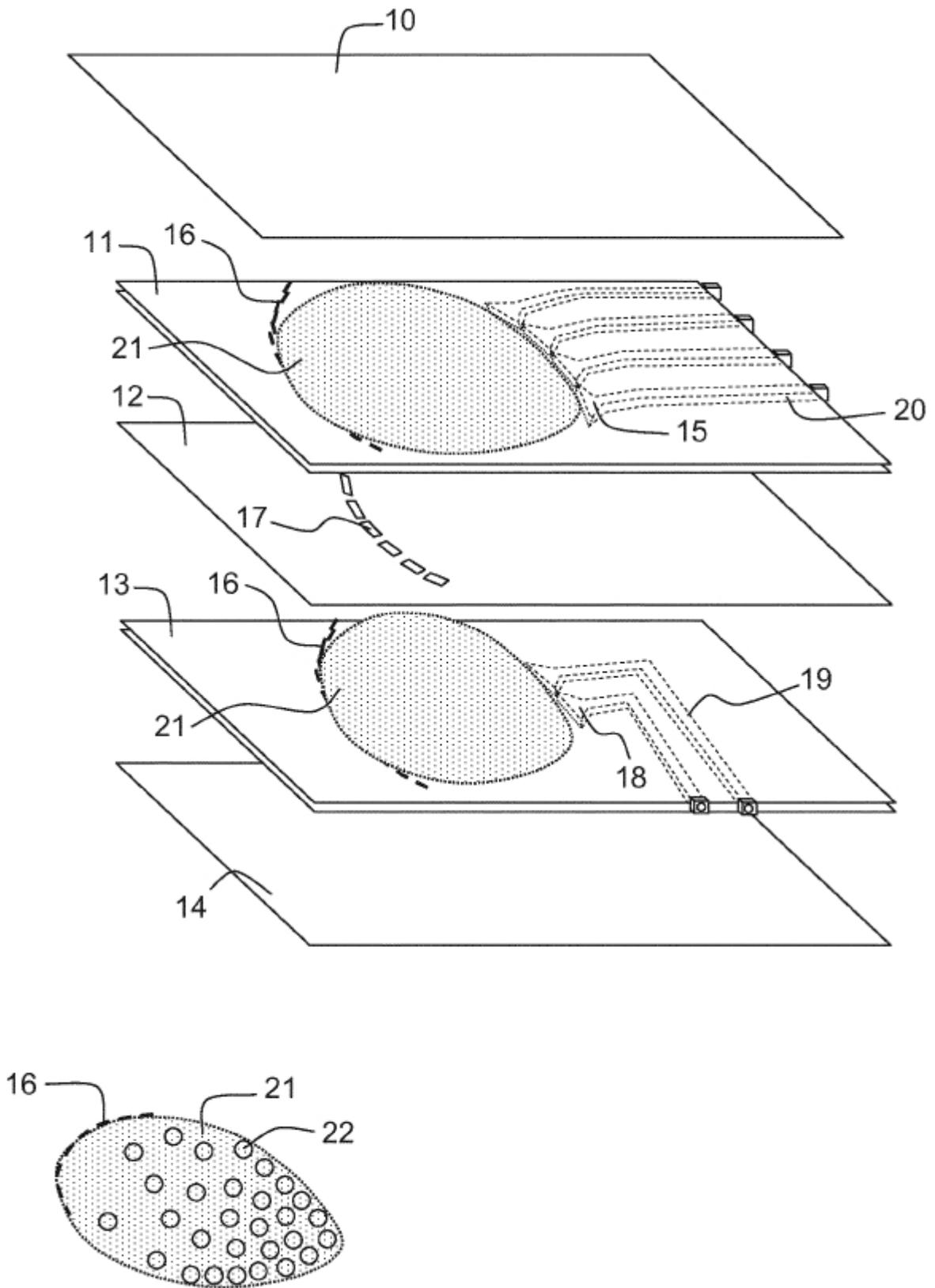


FIG.2c



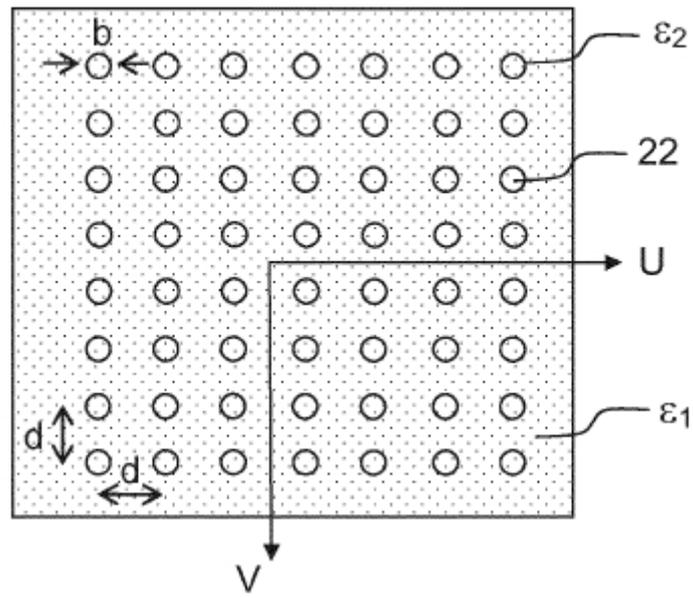


FIG. 2e

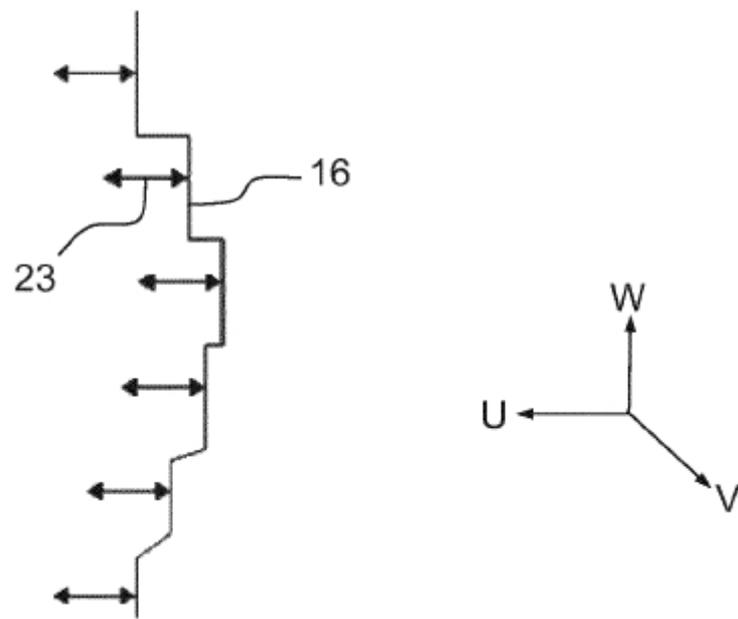


FIG. 3

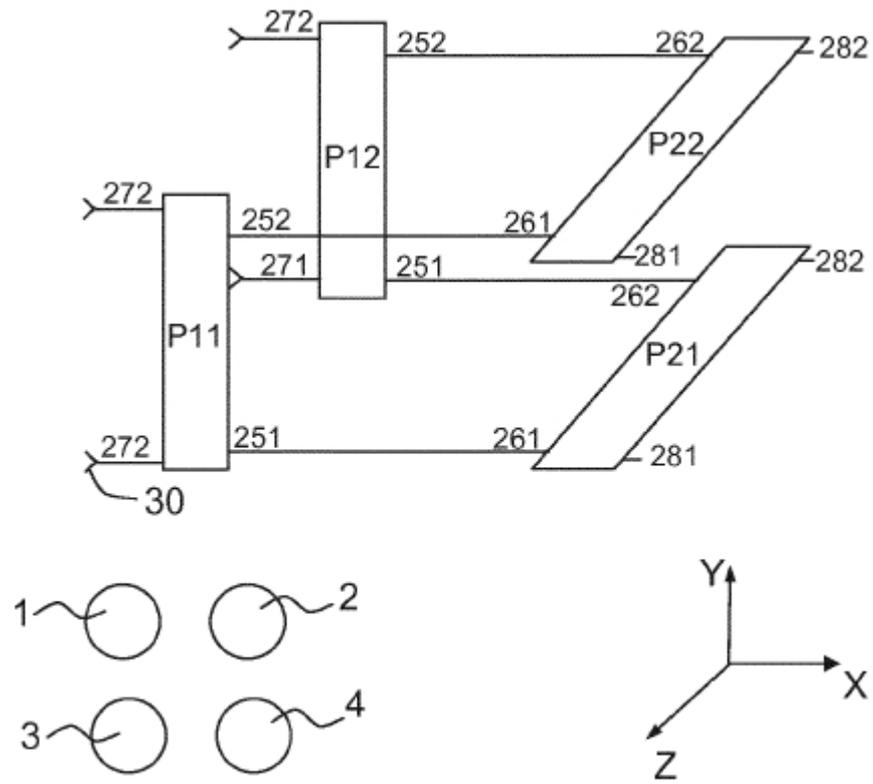


FIG. 4a

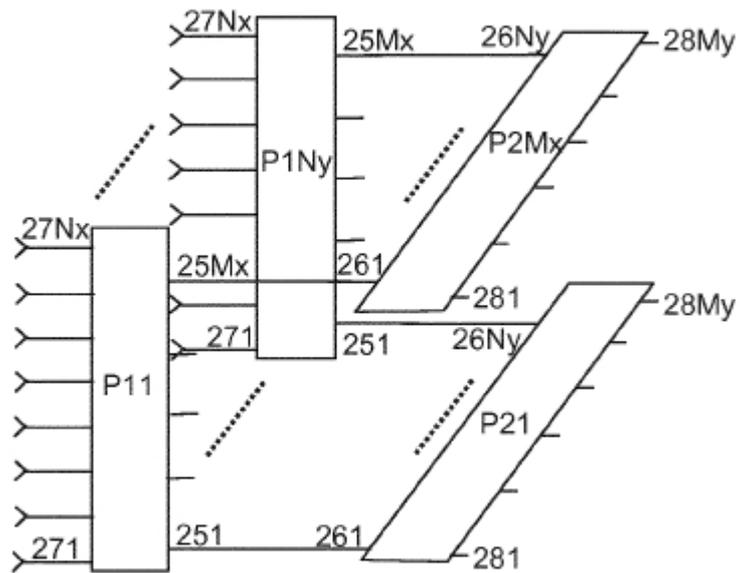


FIG. 4b

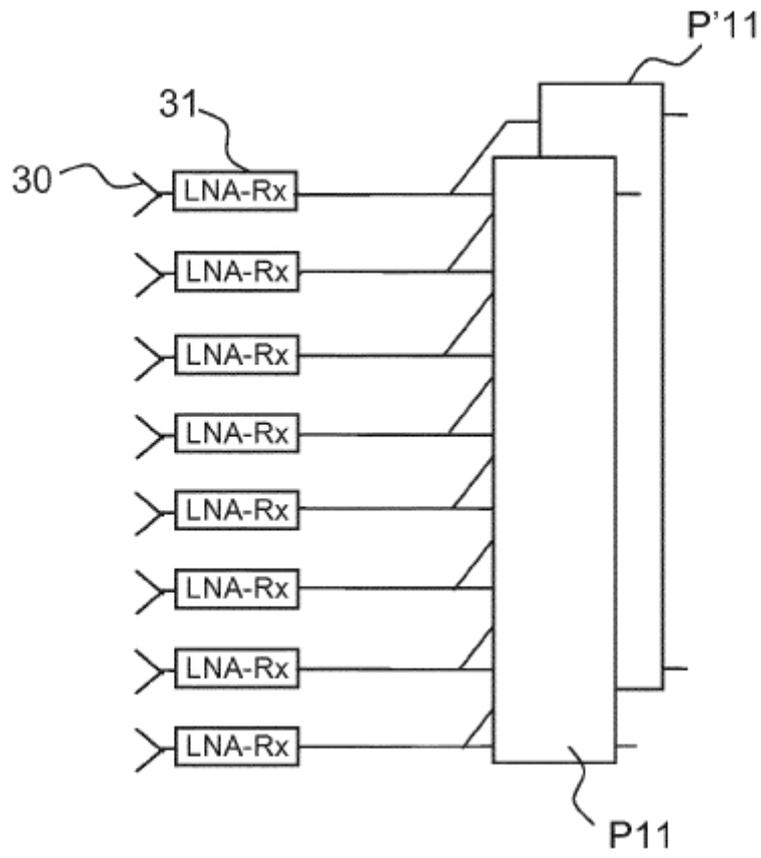


FIG.5a

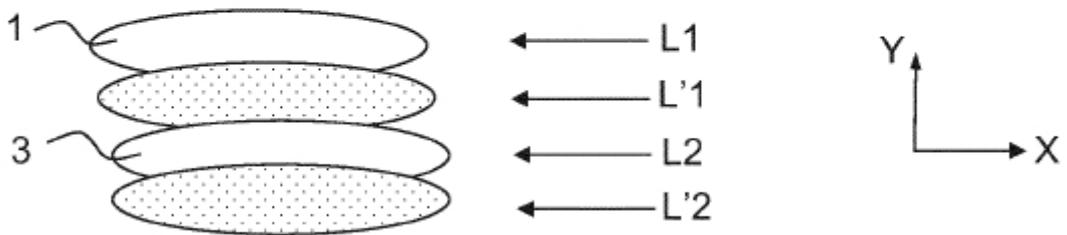


FIG.5b

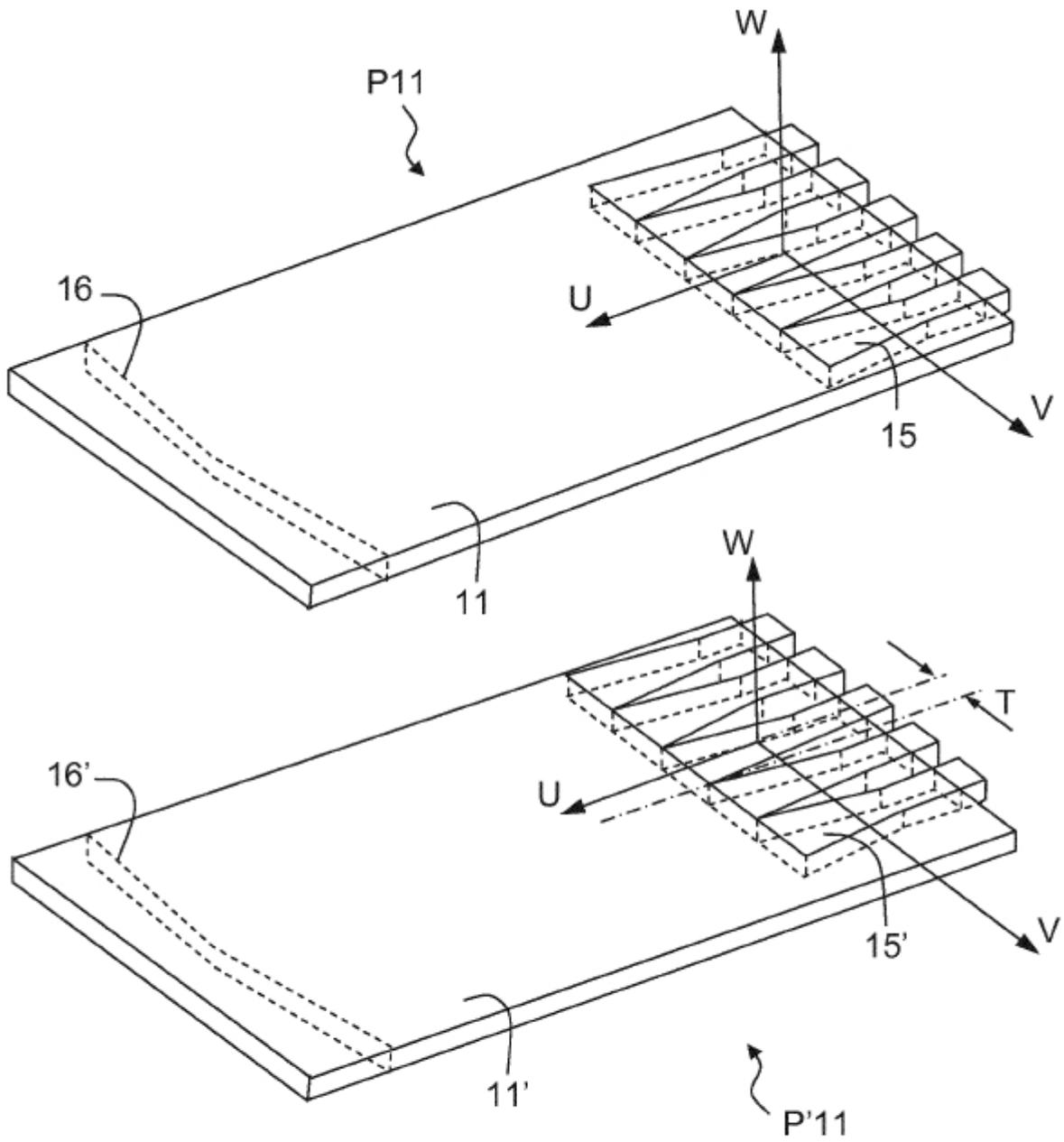


FIG.5c

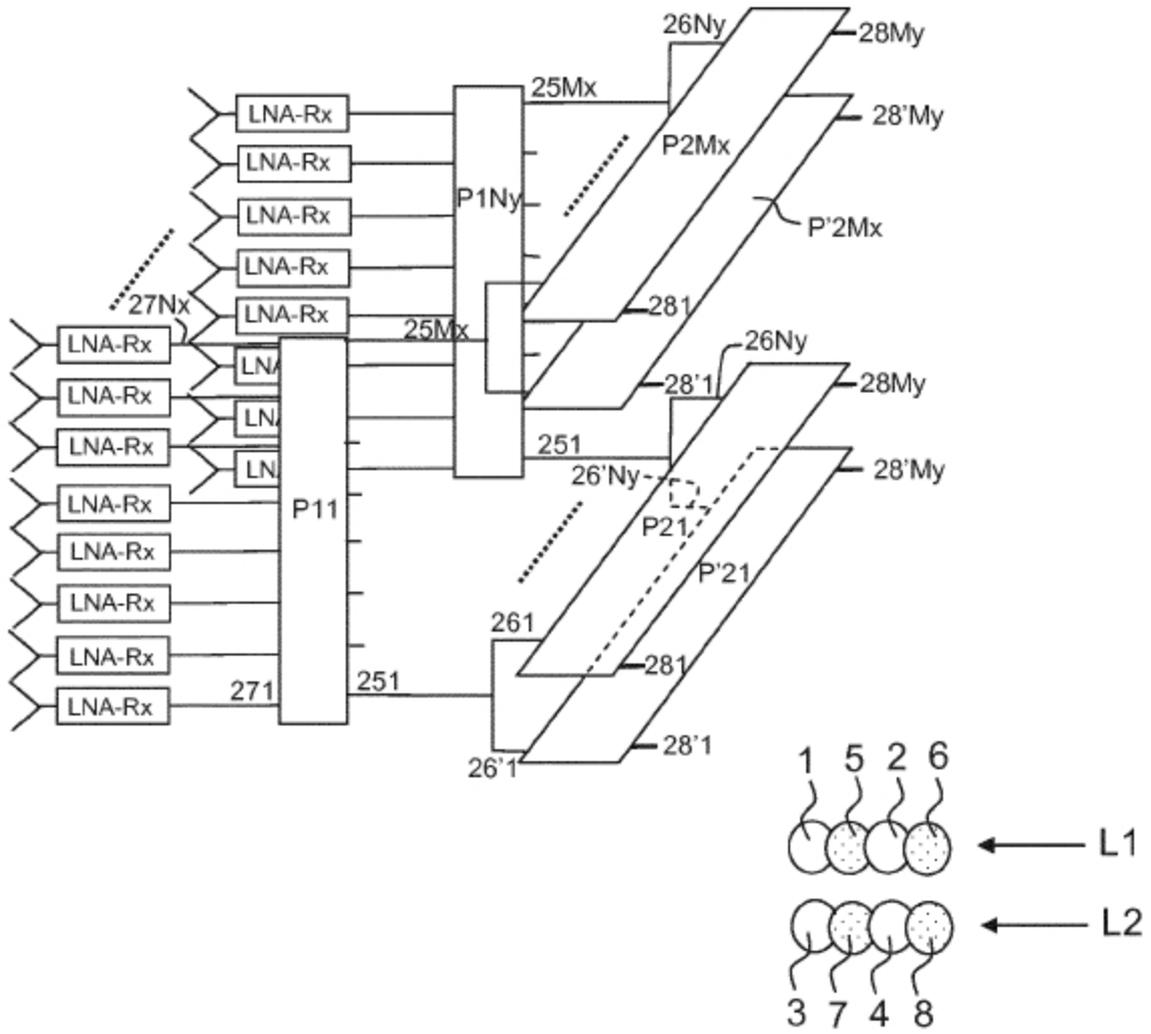


FIG.6

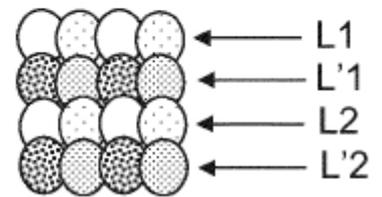
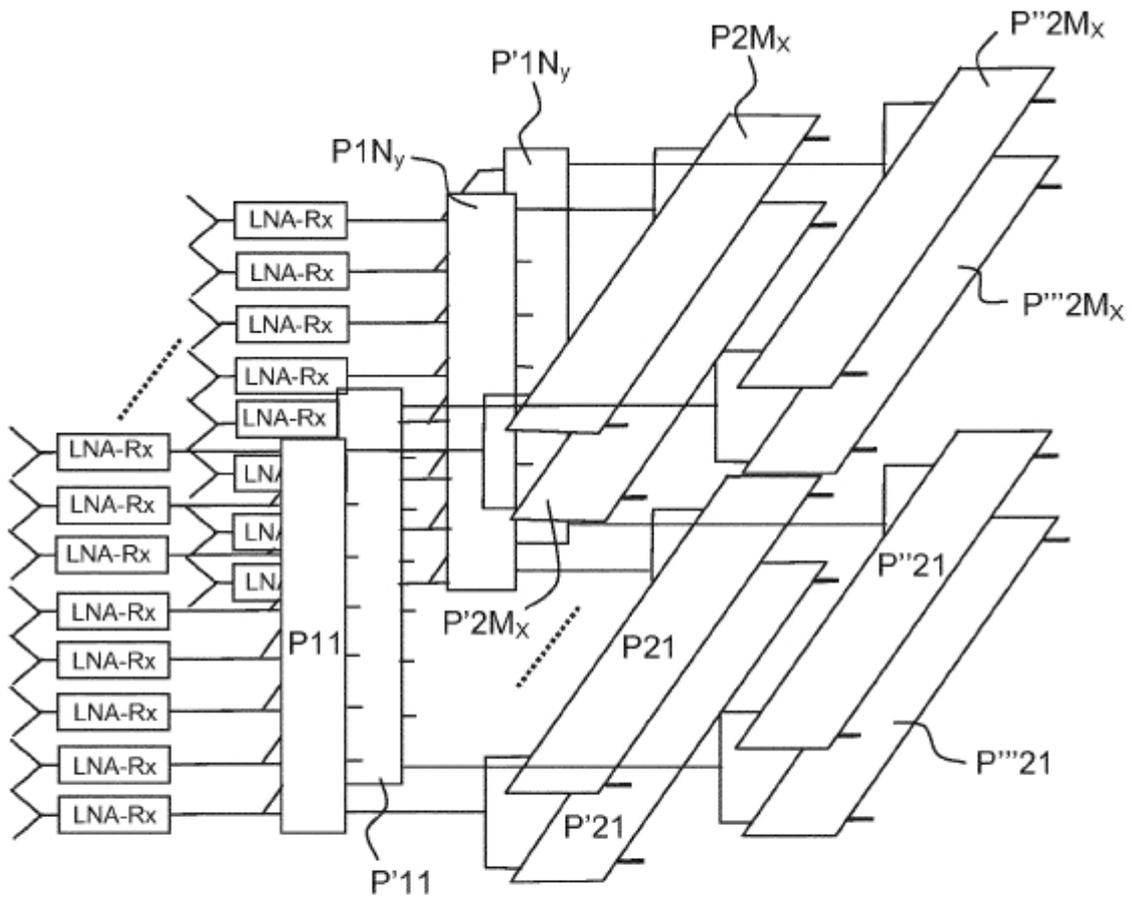


FIG.7a

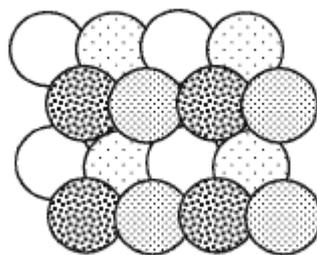


FIG.7b

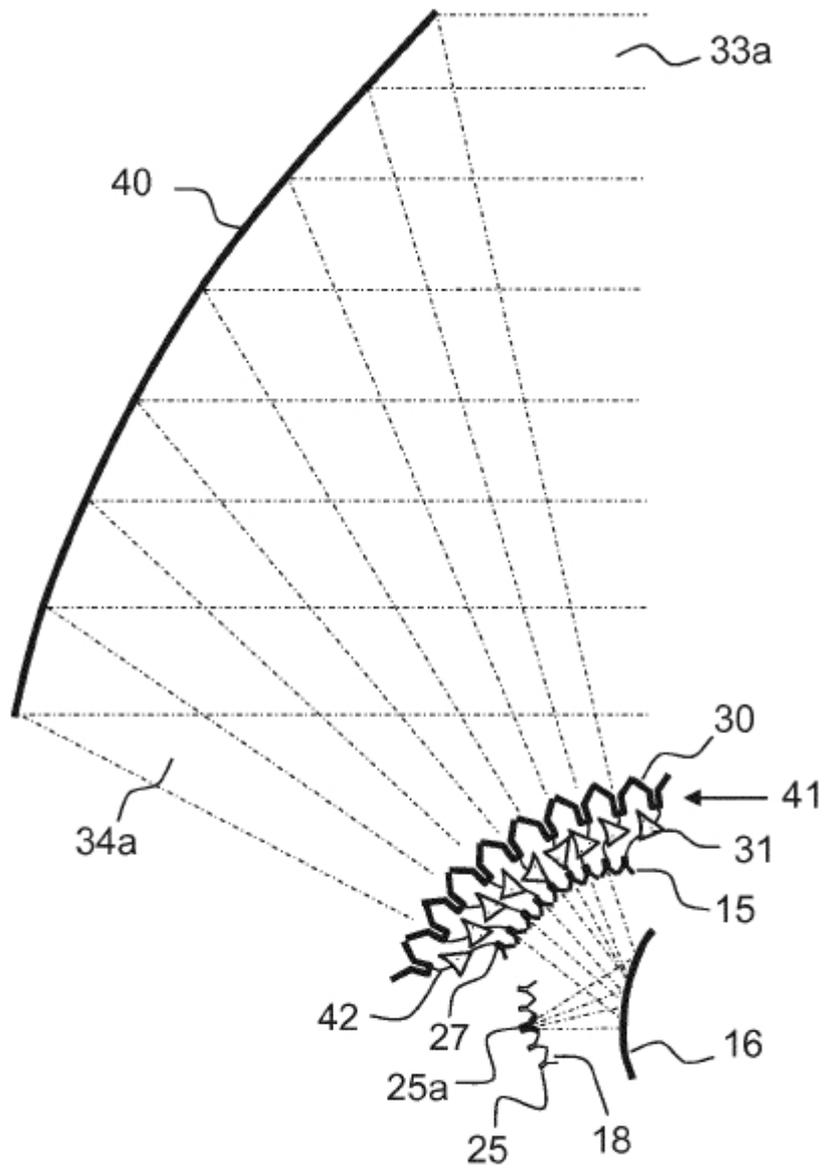


FIG.8a

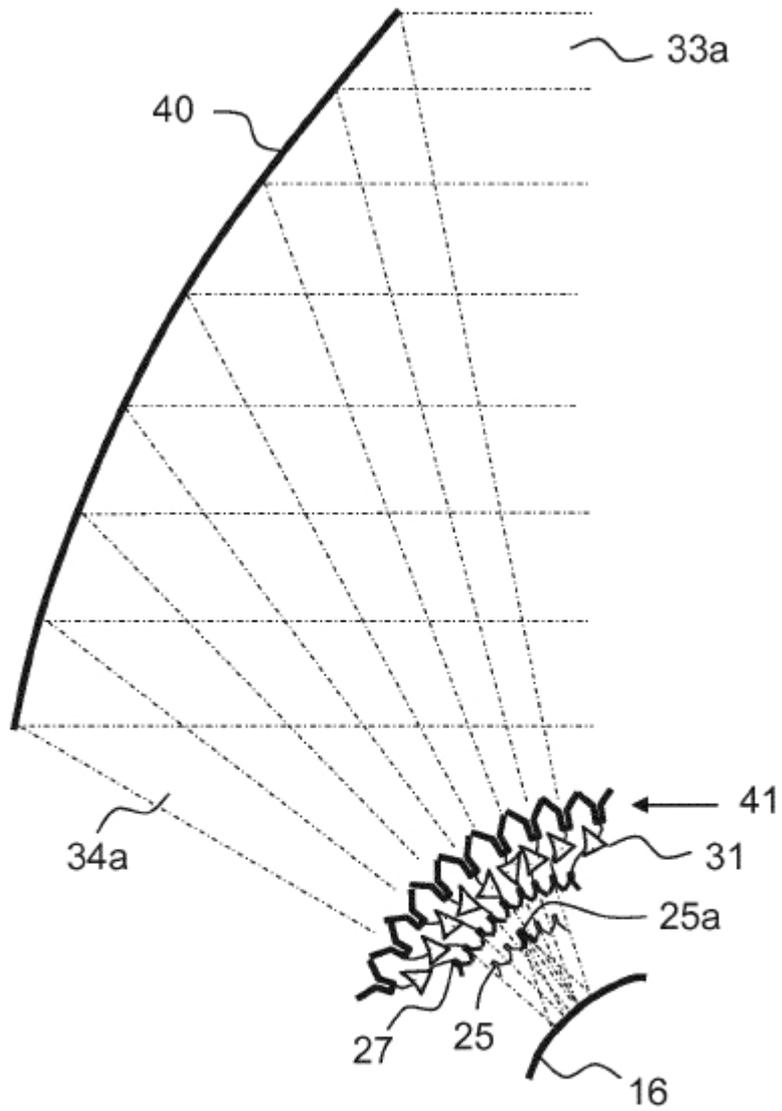


FIG.8b

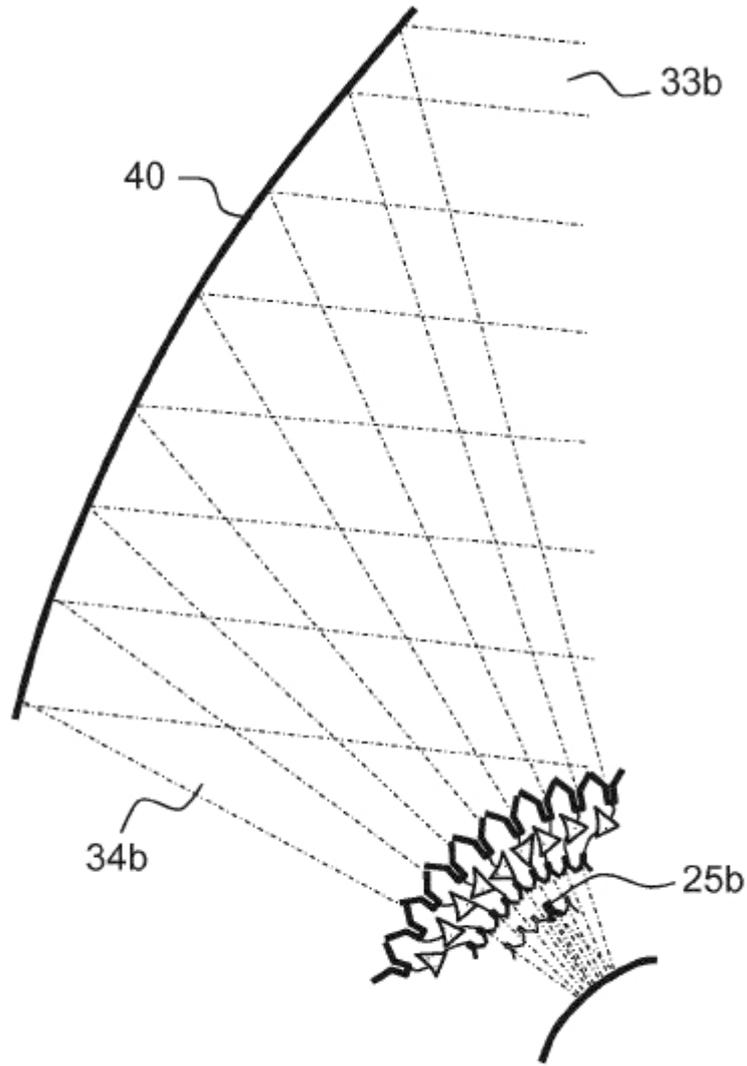


FIG.8c

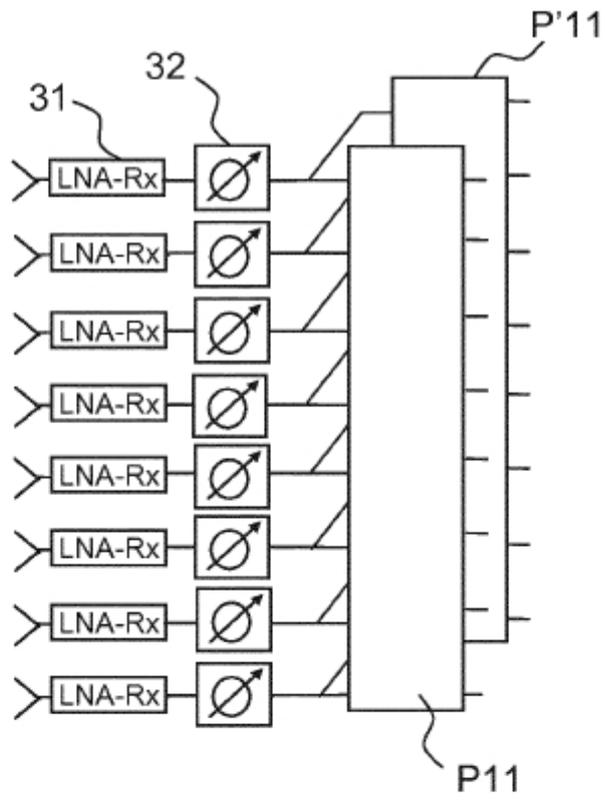


FIG.8d

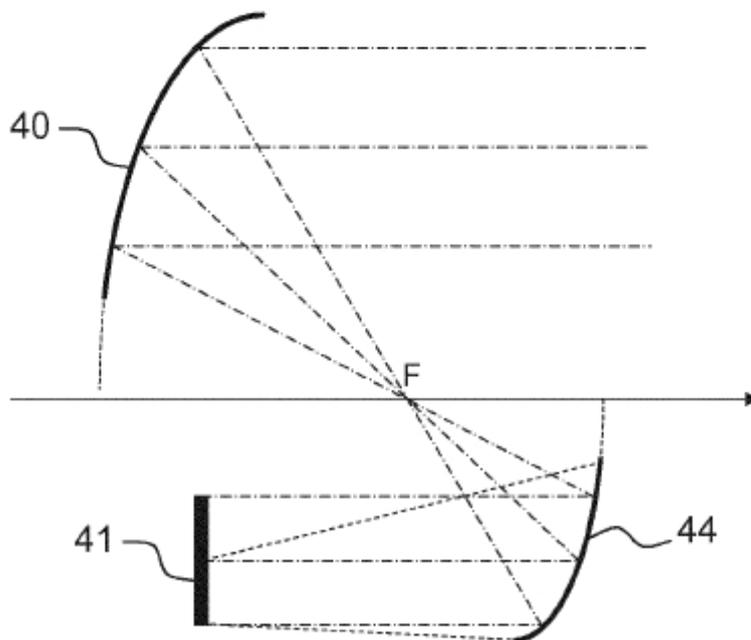


FIG.9