

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 707**

51 Int. Cl.:

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| <b>G02B 26/08</b> | (2006.01) |
| <b>G02B 27/64</b> | (2006.01) |
| <b>H01Q 3/00</b>  | (2006.01) |
| <b>H01Q 15/08</b> | (2006.01) |
| <b>H01Q 3/02</b>  | (2006.01) |
| <b>H01Q 17/00</b> | (2006.01) |
| <b>H01Q 19/06</b> | (2006.01) |
| <b>H01Q 15/10</b> | (2006.01) |
| <b>H01Q 15/00</b> | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2008 E 08162549 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016 EP 2028524**

54 Título: **Método y aparato para dirigir y estabilizar haces de radiofrecuencia utilizando estructuras de cristales fotónicos**

30 Prioridad:

**20.08.2007 US 841305**

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

**27.03.2017**

73 Titular/es:

**EXELIS INC. (100.0%)  
2235 Monroe Street  
Herndon, VA 20171 , US**

72 Inventor/es:

**BRAUNSTEIN, MARK DAVID;  
WINSOR, ROBERT SCOTT;  
FREELAND, PETER CHARLES y  
PIXTON, SHANE WILLIAM**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 606 707 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

Método y aparato para dirigir y estabilizar haces de radiofrecuencia utilizando estructuras de cristales fotónicos

5 **Antecedentes de la invención****1. Campo técnico**

10 La presente invención pertenece a dirigir haces de radiofrecuencia (RF). En particular, la presente invención pertenece a un dispositivo que utiliza estructuras de cristales fotónicos (por ejemplo, prismas, etc.) para dirigir o controlar transmisiones de haces de RF.

**2. Análisis de la técnica relacionada**

15 Los sistemas de transmisión de radiofrecuencia (RF) en general emplean antenas parabólicas u otras que reflejan señales de RF para transmitir un haz colimado saliente. El haz puede dirigirse mediante varias técnicas convencionales. Por ejemplo, pueden emplearse conjuntos de cardán motorizados que usan dos motores y circuitería de realimentación asociada para mover físicamente la antena (tanto en azimut como elevación) para dirigir un haz de radiofrecuencia (RF). Sin embargo, los conjuntos dirigidos por cardán son normalmente pesados y voluminosos, y requieren cantidades sustanciales de potencia para girar la antena y mantener la alineación del haz de radio. En muchos casos, el peso del conjunto dirigido por cardán y antena superan la capacidad nominal de carga de la plataforma. Además, el sistema de realimentación de bucle cerrado usado para estabilizar un conjunto dirigido por cardán y antena combinado es complejo y requiere personalización para cada instalación. Además, los sistemas dirigidos por cardán requieren niveles extremadamente altos de estabilidad mecánica para aplicaciones que implican anchuras de haz de radio estrechas (por ejemplo, sistemas de radio de onda milimétrica).

20 Los sistemas de dirección de conjuntos en fase pueden emplearse también para dirigir un haz de RF. En general, estos tipos de sistemas emplean numerosos módulos de transmisión/recepción que cada uno proporciona una porción del haz de RF resultante. Las porciones de haz se combinan y producen de manera colectiva el haz de RF resultante transmitido o dirigido en la dirección deseada. Sin embargo, estos tipos de sistemas requieren un gran número de subsistemas electrónicos (por ejemplo, uno para cada elemento de radiación o módulo de transmisión/recepción) para dirigir electrónicamente el haz. Los sistemas de dirección de haz de conjunto en fases amplían adicionalmente el haz de RF cuando se mueven fuera de la referencia de alineación óptica y aumentan los niveles de lóbulos laterales. Los lóbulos laterales son la porción de un haz de RF que son un subproducto de la propagación del haz a partir de la apertura de la antena. Normalmente, la supresión de la energía de lóbulo lateral es crítica para reducir la probabilidad de que el haz transmitido se detecte (por ejemplo, un haz de RF es menos probable que se detecte, interfiera o escuche clandestinamente en respuesta a supresión de la energía del lóbulo lateral).

30 Además, pueden usarse cuñas dieléctricas para dirigir ondas de radio a través de los principios de difracción prismáticos. Las cuñas se construyen preferentemente a partir de estructuras homogéneas. Sin embargo, estos tipos de estructuras homogéneas requieren que las cuñas se mecanicen de bloques de materiales adecuados. Normalmente, esto implica el mecanizado de bloques rectangulares para formar cuñas de un ángulo especificado, desperdiciando intrínsecamente de esta manera el material.

35 El documento US 2005/195505 A1 desvela un dispositivo de prisma que incluye un material de prisma que tiene sustancialmente el mismo índice de refracción a una primera y segunda longitudes de onda, un primer revestimiento anti-reflejo para reducir el reflejo de un primer haz de señal a la primera longitud de onda, y un segundo revestimiento antirreflejo para reducir el reflejo de un segundo haz de señal a la segunda longitud de onda. El material de prisma puede ser silicio, que tiene sustancialmente el mismo índice de refracción a longitudes de onda de IR y RF. En este caso, el revestimiento antirreflejo de RF puede ser una capa de dióxido de silicio (sílice fundida), que puede rodearse entre dos revestimientos antirreflejo de IR diseñados para minimizar los reflejos de IR entre el aire circundante y el revestimiento antirreflejo de RF y entre el revestimiento antirreflejo de RF y el material del prisma, respectivamente.

40 El documento US 3 226 721 A desvela una antena de exploración que utiliza cuatro prismas rotatorios para producir una exploración rectilínea y un quinto prisma rotatorio para producir una exploración cónica. Este dispositivo se refiere en general a sistemas de antenas de exploración y la invención tiene referencia más particularmente a un sistema de exploración novedoso adecuado para explorar patrones de exploración deseados, tales como una exploración por tramas o una exploración cónica, o una combinación de estas exploraciones tal como exploración de búsqueda de tramas limitada en combinación con una exploración de rastreo cónico.

45 M. NAVARRO-CIA ET AL: "Negative refraction in a prism made of stacked subwavelength hole arrays" OPTICS EXPRESS vol. 16, n. ° 2, 01 de enero de 2008, página 560, XP055013931 DOI: 10.1364/OE.16.000560 ISSN: 1094-4087 desvela estructuras de metamateriales que son materiales artificiales que muestran propiedades electromagnéticas no convencionales tales como índice de refracción negativo, lentes perfectas e invisibilidad.

**Sumario de la invención**

De acuerdo con las realizaciones de la presente invención, un dispositivo de dirección de haz de RF emplea un conjunto de prisma para dirigir un haz de RF. El conjunto de prisma incluye una pluralidad de prismas dieléctricos cada uno con una capa de adaptación de impedancia asociada para desviar el haz de RF a través de un intervalo controlado. Los prismas dieléctricos se rotan uno con respecto al otro para dirigir el haz de RF. Los prismas incluyen una pluralidad de paneles individuales con aperturas perforadas o ranuradas que están dispuestas para producir una estructura de cristal fotónico optimizada para una radiofrecuencia específica. Las aperturas están dispuestas en cada panel para crear de manera eficaz una estructura de cristal fotónico periódica dentro de una región definida. Esta configuración modifica de manera eficaz la constante dieléctrica a través de una región particular cualquiera de un panel, modificando de esta manera el nivel de difracción posible para un espesor de panel especificado. Las aperturas dentro de cada panel apilado se solapan para producir el nivel requerido de difracción y gradiente de índice refractivo. Los motores rotan los prismas uno con respecto al otro a la orientación correcta para dirigir el haz de RF de una manera deseada.

El dispositivo de dirección de haz de RF proporciona varias ventajas. En particular, el dispositivo utiliza una técnica de dirección avanzada. En lugar de mover físicamente una antena completa tanto en azimut como elevación para conseguir compensación de movimiento, el dispositivo simplemente manipula el haz de RF. El movimiento del haz se consigue mediante la rotación de dos o más prismas dieléctricos. Esto simplifica la dinámica de la plataforma del conjunto de dirección de antena/prisma combinado. Por ejemplo, el dispositivo puede emplear motores más pequeños, ligeros y de potencia inferior y un sistema de control de bucle abierto simplificado para conseguir el mismo nivel de rendimiento o comparable al de la dirección de haz de RF como los sistemas dirigidos por cardán. Además, puede realizarse la difracción en un medio dieléctrico variando el índice de refracción a través de la superficie de una estructura plana. Esto permite que se fabriquen los prismas usando materiales laminados de placa de circuito convencionales mediante procedimientos de perforación y ranurado de panel. El ángulo de difracción puede variarse controlando el número y espesor de paneles laminados apilados, el número y espaciado de aperturas perforadas o ranuradas en un panel, y la constante dieléctrica del laminado. Los patrones de orificios y ranuras controlan el rendimiento de la estructura de cristal fotónico del prisma. Además, la naturaleza ligera intrínseca del material dieléctrico del prisma (y los orificios definidos en el mismo) posibilitan la creación de un prisma de RF que es más ligero que una contraparte sólida correspondiente.

Las realizaciones de la presente invención pueden proporcionar también un mecanismo de compensación para tener en cuenta el balanceo o inestabilidad con respecto a una plataforma a la que están montados los prismas. El mecanismo de compensación puede incluir acelerómetros para detectar alabeo, cabeceo o guiñada. Pueden emplearse acelerómetros de único eje o múltiples. Pueden emplearse también sensores de inclinación. Como alternativa, puede acoplarse un sistema mecánico, que incluye, por ejemplo, péndulos ponderados a los prismas y mover en una dirección opuesta al movimiento de la plataforma auto-corrigiendo de esta manera la posición de los prismas.

Las características y ventajas anteriores y aún adicionales de la presente invención se harán evidentes tras la consideración de la siguiente descripción detallada de realizaciones específicas de la misma, particularmente cuando se toma en conjunto con los dibujos adjuntos en los que números de referencia similares en las diversas figuras se utilizan para designar componentes similares.

**Breve descripción de los dibujos**

- La Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático del dispositivo de dirección de haz de acuerdo con una realización de la presente invención.
- La Figura 2 es una ilustración esquemática de un prisma a modo de ejemplo del dispositivo de dirección de haz de la Figura 1 de acuerdo con una realización de la presente invención.
- La Figura 3 es una ilustración esquemática de una estructura de cristal fotónico a modo de ejemplo del tipo empleado mediante el prisma de la Figura 2 de acuerdo con una realización de la presente invención.
- La Figura 4A es una vista en perspectiva en sección parcial de un prisma de cuña a modo de ejemplo.
- La Figura 4B es una ilustración esquemática de un haz que se dirige mediante el prisma de cuña a modo de ejemplo de la Figura 4A.
- La Figura 5 es una vista en alzado y en sección del prisma de cuña a modo de ejemplo ilustrado en una posición invertida con respecto a la Figura 4A.
- La Figura 6 son vistas en sección parcial del prisma de cuña a modo de ejemplo de la Figura 4A que ilustran un ángulo de cuña variable.
- La Figura 7 es un diagrama de bloques de un circuito a modo de ejemplo para estabilizar prismas de acuerdo con una realización de la presente invención.
- La Figura 8 es un diagrama esquemático de un mecanismo de estabilización mecánica a modo de ejemplo de acuerdo con una realización de la presente invención.

### Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Las realizaciones de la presente invención pertenecen a un dispositivo de dirección de haz de radiofrecuencia (RF) que incluye una pluralidad de prismas cada uno con una estructura de cristal fotónico. Los prismas se rotan uno con respecto al otro para dirigir un haz de RF de una manera deseada como se ilustra en la Figura 1. Específicamente, el dispositivo de dirección de haz 50 incluye una pluralidad de prismas 20, 21, una pluralidad de conjuntos rotatorios 23, una pluralidad de motores 30 y un controlador 40. Cada prisma 20, 21 se fabrica usando materiales dieléctricos (por ejemplo, laminado de RF, etc.) adecuados para uso en aplicaciones de radiofrecuencia. Los prismas están preferentemente configurados para posibilitar que los materiales dieléctricos produzcan campos electromagnéticos que desvían el haz una cantidad deseada en un eje de movimiento particular como se ha descrito anteriormente. Cada prisma incluye una capa de prisma para refractar el haz y una o más capas de adaptación de impedancia para posibilitar la propagación de onda de radio minimizando los reflejos. Se definen patrones de conjuntos de orificios o ranuras en los materiales dieléctricos del prisma y capas de adaptación de impedancia para crear estructuras de cristales fotónicos que varían el índice de refracción (por ejemplo, proporcional a la constante dieléctrica del material) sobre la superficie del prisma como se describe a continuación. Las capas de los prismas se unen juntas en una única estructura, donde capas sucesivas de materiales dieléctricos, cada uno con una constante dieléctrica específica, pueden apilarse con la cantidad apropiada de capas adhesivas (por ejemplo, láminas pre-registradas, etc.) para aumentar el ángulo de difracción del prisma. Las capas de adaptación de impedancia transforman la impedancia de onda de plano de espacio libre para coincidir con la impedancia del material de constante dieléctrica más alta. A modo de ejemplo únicamente, el dispositivo de dirección de haz se describe con respecto dos prismas secuenciales (por ejemplo, primero y segundo) 20, 21. Sin embargo, el dispositivo de dirección de haz puede incluir dos o más prismas separados para realizar dirección de haz con el ángulo de desviación deseado.

Los prismas 20, 21 están montados cada uno en un correspondiente conjunto rotatorio 23. Los conjuntos rotatorios pueden implementarse mediante cualquier conjunto convencional u otro, y normalmente incluyen un mecanismo rotatorio (por ejemplo, anillo rotatorio, plataforma u otra estructura adecuada) para asegurar y rotar un prisma. Los conjuntos rotatorios se manipulan cada uno mediante un motor correspondiente 30 para hacer rotar los prismas uno con respecto al otro para producir el ángulo de desvío deseado para el haz. Los motores pueden implementarse mediante cualquier motor convencional u otro o accionadores para rotar los prismas. A modo de ejemplo, el dispositivo de dirección de haz incluye dos conjuntos rotatorios dispuestos de una panera para situar los prismas 20, 21 coincidentes entre sí. Esto posibilita que un haz de RF atraviese secuencialmente los prismas para dirección deseada como se describe a continuación.

Los motores 30 se controlan mediante el controlador 40 para rotar los prismas en una cierta manera uno con respecto al otro para conseguir una dirección de haz deseada. El controlador puede implementarse mediante cualquier controlador o procesador convencional u otro (por ejemplo, microprocesador, controlador, circuitería de control, lógica, etc.), y se utiliza básicamente con un bucle de realimentación para controlar la rotación del prisma. Por ejemplo, los conjuntos de montaje y/o motores pueden incluir un tipo de sensores 29 para medir y coordinar la rotación del prisma (se describen más adelante otros tipos de sensores en el presente documento). Los sensores pueden implementarse mediante cualquier sensor convencional u otro (por ejemplo, codificadores, potenciómetros, etc.) para medir la rotación del prisma y/u otras condiciones del sistema. Estas mediciones se proporcionan al controlador para posibilitar el control de la rotación del prisma y dirección del haz.

Básicamente, se proporciona un haz de RF 7 al dispositivo de dirección de haz 50 desde una fuente, tal como una antena 5 que transmite el haz de RF. El haz de RF atraviesa el primer prisma 20 y se refracta mediante el campo electromagnético producido desde las estructuras de cristales fotónicos del prisma. El haz de RF refractado atraviesa posteriormente el segundo prisma 21 y se refracta de nuevo mediante el campo electromagnético producido desde las estructuras de cristales fotónicos del prisma. La orientación de los prismas 20, 21 uno con respecto al otro posibilita que los prismas produzcan de manera colectiva un haz de RF resultante 27 refractado o dirigido en la dirección deseada. El controlador 40 controla los motores 30 para rotar los prismas de una manera para conseguir el efecto de dirección deseado basándose en el análisis descrito a continuación (por ejemplo, las Ecuaciones 1 - 11 para conseguir el ángulo de dirección deseado,  $\theta_s$  o  $\phi$ ). El controlador puede manipular ambos prismas simultáneamente para conseguir la orientación deseada, o un prisma puede estar fijo mientras se manipula el otro prisma.

Una estructura de prisma a modo de ejemplo de acuerdo con una realización de la presente invención se ilustra en la Figura 2. Específicamente, cada prisma 20, 21 incluye una porción o capa de prisma 10 y una pluralidad de capas de adaptación de impedancia 22. El primer prisma 20 puede incluir adicionalmente una capa o máscara de absorción o de apodización 24 para reducir lóbulos laterales. Estas capas cada una preferentemente incluye una estructura de cristal fotónico (por ejemplo, materiales dieléctricos o de absorción con una serie de orificios definidos en los mismos) como se describe a continuación. La capa de prisma 10 está dispuesta entre y fijada a las capas de adaptación de impedancia 22 mediante láminas pre-registradas 33 (por ejemplo, láminas de pegamento u otro adhesivo) y/o u otros adhesivos adecuados. Un haz de RF entra en los prismas 20, 21 y atraviesa una capa de adaptación de impedancia inicial 22 y la capa de prisma 10, y sale a través de la capa de adaptación de impedancia restante como un haz dirigido. La máscara de apodización 24 puede fijarse al primer prisma 20, mediante la lámina de pre-registro 33, a una superficie de una capa de adaptación de impedancia 22 que se enfrenta a una fuente de

señal (por ejemplo, la antena 5 como se observa en la Figura 1). En este caso, el haz de RF entra en el primer prisma 20 y atraviesa la máscara de apodización 24, una capa de adaptación de impedancia inicial 22 y la capa de prisma 10, y sale a través de la capa de adaptación de impedancia restante como un haz dirigido. Sin embargo, las capas de prismas 20, 21 pueden ser de cualquier cantidad y pueden estar dispuestas en cualquier manera adecuada. Además, pueden usarse materiales dieléctricos y/o de absorción adicionales y/o láminas pre-registradas para ajustar el espesor global de una o más capas de prisma.

La capa de prisma 10 incluye una estructura de cristal fotónico. Una estructura de cristal fotónico a modo de ejemplo para la capa de prisma 10 se ilustra en la Figura 3. Inicialmente, las estructuras de cristales fotónicos utilizan diversos materiales, donde las dimensiones características de, y espaciado entre, los materiales están normalmente en el orden de, o menor de, la longitud de onda de una señal (o fotón) de interés (por ejemplo, para la que está diseñado el material). Los materiales normalmente incluyen constantes dieléctricas variables. Las estructuras de cristales fotónicos pueden diseñarse para incluir características de tamaño, peso y forma que son deseables para ciertas aplicaciones. Específicamente, la capa de prisma 10 se forma definiendo una serie de orificios 14 en un material padre 12, preferentemente mediante técnicas de perforación. Sin embargo, los orificios pueden definirse como alternativa en el material padre mediante cualquier técnica o máquina convencional (por ejemplo, fabricación asistida por ordenador, máquinas bidimensionales, corte por chorro de agua, corte por láser, etc.). En este caso, los dos materiales que constituyen la estructura de cristal fotónico incluyen aire (o posiblemente vacío para aplicaciones espaciales) y el material padre 12. El material padre es preferentemente un laminado de RF e incluye una constante dieléctrica alta ( $\epsilon_r$ ; por ejemplo, en el intervalo de 10 - 12). El material padre puede como alternativa incluir plásticos (por ejemplo, un polietileno de alta densidad, etc.), vidrio u otro material con una tangente de pérdida baja al intervalo de frecuencia de interés y una constante dieléctrica adecuada. La disposición de los orificios puede ajustarse para modificar el comportamiento de la capa de prisma como se describe a continuación.

El material padre 12 puede ser de cualquier forma o tamaño adecuado. A modo de ejemplo únicamente, el material padre 12 es sustancialmente cilíndrico en forma de un disco con superficies delantera y trasera sustancialmente planares. Los orificios se definen generalmente a través del material padre en la dirección de (o sustancialmente paralelo a) la ruta de propagación del haz (por ejemplo, a lo largo de un eje de propagación, o desde la superficie delantera del prisma a través del espesor del prisma hacia la superficie trasera del prisma). Los orificios 14 en el material padre 12 incluyen dimensiones menores de la de la longitud de onda de la señal o haz de interés, mientras el espaciado entre estos orificios es similar en el orden de o menores que la longitud de onda de la señal de interés. Por ejemplo, una dimensión y espaciado de orificio cada una menor de un centímetro puede emplearse para un haz de RF con una frecuencia de 30 gigahercios (GHz). Puede conseguirse una eficacia mayor del prisma reduciendo las dimensiones y espaciado de los orificios con relación a la longitud de onda de la señal de interés como se describe a continuación.

A medida que un fotón se acerca al material 12, un campo electromagnético próximo al material experimenta esencialmente un efecto de promedio a partir de las constantes dieléctricas variables de los dos materiales (por ejemplo, el material 12 y el aire) y los efectos dieléctricos resultantes a partir de estos materiales son proporcionales al promedio de las capacidades volumétricas de los materiales en la capa de prisma. En otras palabras, los efectos dieléctricos resultantes son comparables a aquellos de un dieléctrico con una constante derivada de una media ponderada de las constantes del material, donde las constantes del material se ponderan basándose en el porcentaje de la capacidad volumétrica del material correspondiente con relación al volumen de la estructura. Por ejemplo, una estructura que incluye el 60 % en volumen de un material con una constante dieléctrica de 11,0 y el 40 % en volumen de un material con una constante dieléctrica 6,0 proporciona propiedades de un dieléctrico con una constante de 9,0 (por ejemplo,  $(60 \% \times 11,0) + (40 \% \times 6,0) = 6,6 + 2,4 = 9,0$ ).

Puesto que un prisma óptico puede incluir porciones de material refractivo mayores, la estructura de cristal fotónico para la capa de prisma 10 puede construirse para incluir de manera similar (o emular) esta propiedad. A modo de ejemplo únicamente, los orificios 14 pueden definirse en una porción de la capa de prisma para espaciarse significativamente más cerca entre sí que los orificios definidos dentro de otras porciones de la capa de prisma, donde la constante dieléctrica de la capa de prisma,  $\epsilon_r$ , aumenta de la porción con orificios espaciados más cerca a la porción con orificios espaciados más lejos (por ejemplo, como se observa en la Figura 3). Puesto que el índice de refracción de la capa de prisma es proporcional a la constante dieléctrica, el índice de refracción sigue de manera similar esta tendencia. La separación de los orificios 14 y sus diámetros correspondientes puede ajustarse como una función del diámetro de la estructura para crear un efecto de prisma a partir de la estructura completa. Por lo tanto, los campos electromagnéticos producidos por la estructura de cristal fotónico esencialmente emulan los efectos de un prisma óptico y posibilitan que todo el haz de RF se dirija o refracte. Puesto que la estructura de cristal fotónico es en general planar o plana, la estructura de cristal fotónico es sencilla de fabricar y puede realizarse a través del uso de técnicas de fabricación asistidas por ordenador como se describe a continuación.

La manera en la que se definen los orificios 14 en la capa de prisma 10 está basada en la dirección o refracción deseada del haz de RF. Un prisma de cuña óptico a modo de ejemplo que dirige o refracta un haz se ilustra en las Figuras 4A - 4B y 5 - 6. Inicialmente, el prisma 25 es sustancialmente circular e incluye una sección transversal (Figura 4A) generalmente triangular (o con forma de cuña) que proporciona un ángulo de cuña (por ejemplo, espesor de prisma variable a lo largo de un eje óptico vertical 80, donde el ángulo de cuña se define por la cuña o porción

estrecha del prisma) para fines de describir el efecto de dirección. Los diversos espesores del prisma posibilitan que el ángulo de cuña varíe a localizaciones de prisma angulares sucesivas con relación al eje óptico del prisma (por ejemplo, el ángulo de cuña varía a rotaciones de prisma de 0°, 10°, 20°, 30° y 45° con relación al eje óptico como se observa en la Figura 6). Una sección transversal del prisma 25 incluye una base y un vértice truncado dispuesto opuesto a la base (Figura 5) con las caras del prisma exterior orientadas al ángulo de cuña y no perpendiculares a un eje de rotación 60 del prisma (por ejemplo, el eje alrededor del cual se rota el prisma, normalmente el eje que se extiende a través de los puntos centrales de las caras del prisma).

Específicamente, se dirige un haz 7 para atravesar el prisma 25. La propagación del haz que sale del prisma puede determinarse a partir de la ley de Snell como sigue.

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde  $n_1$  es el índice de refracción del primer material atravesado por el haz,  $n_2$  es el índice de refracción del segundo material atravesado por el haz,  $\theta_1$  es el ángulo del haz que entra en el segundo material, y  $\theta_2$  es el ángulo del haz refractado en ese material. Los ángulos de direcciones de interés para el haz 7 dirigido hacia el prisma 25 se determinan con relación al eje de rotación 60 (por ejemplo, un eje perpendicular a y que se extiende a través de los puntos centrales de las caras delantera y trasera del prisma) y de acuerdo con la ley de Snell. Por lo tanto, cada una de las ecuaciones basada en la ley de Snell (por ejemplo, como se observa en la Figura 4B) tiene los ángulos de la ecuación ajustados por el ángulo de cuña (por ejemplo,  $\beta$  como se observa en la Figura 4B) para conseguir el valor de dirección de haz con relación al eje de rotación como se describe a continuación.

El haz 7 entra en el prisma 25 a un ángulo,  $\theta_{1A}$ , que está en un plano que contiene el eje óptico 80 para el prisma (por ejemplo, la línea o eje vertical a través del punto central del prisma desde la parte más fina a la parte más gruesa) y el eje de rotación 60. Este ángulo es el ángulo de la entrada del haz,  $\alpha$ , con relación al eje de rotación 60 y ajustado por el ángulo de cuña,  $\beta$  (por ejemplo,  $\theta_{1A} = \alpha - \beta$ ). El haz se refracta a un ángulo,  $\theta_{2A}$ , con relación a la superficie normal 70 de la superficie delantera del prisma y se determina basándose en la ley de Snell como sigue.

$$\theta_{2A} = \left( \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_{\text{aire}}}{n_M} \text{sen}(\theta_{1A}) \right) \right) \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde  $n_{\text{aire}}$  es el índice de refracción del aire,  $n_M$  es el índice de refracción del material del prisma y  $\theta_{1A}$  es el ángulo de entrada del haz.

El haz atraviesa el prisma y se dirige hacia la superficie trasera del prisma a un ángulo,  $\theta_{1B}$ , con relación a la superficie normal 70 de esa superficie trasera. Este ángulo es el ángulo de refracción por la superficie delantera del prisma,  $\theta_{2A}$ , combinado con los ángulos de cuña,  $\beta$ , desde las superficies delantera y trasera del prisma y puede expresarse como sigue.

$$\theta_{1B} = \theta_{2A} + 2\beta \quad (\text{Ecuación 3})$$

El haz atraviesa la superficie trasera del prisma y se refracta a un ángulo,  $\theta_{2B}$ , con relación a la superficie normal 70 de la superficie trasera del prisma y se determina basándose en la ley de Snell como sigue.

$$\theta_{2B} = \left( \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_M}{n_{\text{aire}}} \text{sen}(\theta_{1B}) \right) \right) \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde  $n_M$  es el índice de refracción del material del prisma,  $n_{\text{aire}}$  es el índice de refracción del aire, y  $\theta_{1B}$  es el ángulo de entrada del haz. El ángulo de refracción,  $\theta_R$ , con relación al eje de rotación 60 es simplemente el ángulo refractado con relación a la superficie normal 70 de la superficie trasera del prisma,  $\theta_{2B}$ , menos el ángulo de cuña,  $\beta$ , de la superficie trasera del prisma (por ejemplo, como se observa en la Figura 4B) y puede expresarse como sigue.

$$\theta_R = \theta_{2B} - \beta = \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_M}{n_{\text{aire}}} \text{sen} \left( \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_{\text{aire}}}{n_M} \text{sen}(\alpha - \beta) \right) + 2\beta \right) \right) - \beta \quad (\text{Ecuación 5})$$

Son necesarios términos adicionales para ampliar la fórmula a un segundo prisma secuencial. En particular, la ley de Snell se aplica al prisma adicional mediante una técnica de proyección que descompone el haz de RF 7 refractado por el primer prisma en los componentes X e Y con respecto a un eje óptico del segundo prisma. El componente X del haz de RF se deriva a partir del haz de RF que sale del primer prisma. Este componente de haz sale del primer

prisma a un ángulo dado,  $p$ , que puede determinarse estableciendo el ángulo  $\alpha$  a cero en la Ecuación 5 como sigue.

$$\rho = \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_M}{n_{\text{aire}}} \text{sen} \left( \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_{\text{aire}}}{n_M} \text{sen}(-\beta) \right) + 2\beta \right) \right) - \beta \quad (\text{Ecuación 6})$$

5 donde  $n_M$  es el índice de refracción del material del prisma,  $n_{\text{aire}}$  es el índice de refracción del aire, y  $\beta$  es el ángulo de cuña.

El eje óptico del segundo prisma puede desplazarse angularmente desde el eje óptico del primer prisma. En este caso, el haz de RF desde el primer prisma necesita descomponerse en los componentes X e Y. El componente X del ángulo de incidencia del haz de RF en el segundo prisma crea un efecto en el ángulo de cuña. Básicamente, el ángulo de incidencia hace que el ángulo de cuña del segundo prisma parezca mayor (Figura 6), provocando de esta manera mayores efectos de dirección en el haz de RF en el segundo prisma.

15 Para tener en cuenta el ángulo de incidencia del haz de RF en el segundo prisma, y el aumento efectivo en el ángulo de cuña, se deriva un nuevo ángulo de cuña,  $\beta_\gamma$ , desde la expansión del ángulo de cuña a lo largo del eje X del ángulo de incidencia y puede expresarse como sigue.

$$\beta_\gamma = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \beta}{\cos(\rho \text{sen}(\gamma))} \right) \quad (\text{Ecuación 7})$$

20 donde  $\beta$  es el ángulo de cuña,  $\rho$  es el componente X del haz de RF que sale del primer prisma y  $\gamma$  es el desplazamiento angular entre los ejes ópticos del primer y segundo prismas. El nuevo ángulo de cuña eficaz aumenta la cantidad que el prisma dirige el haz.

El componente Y del haz de RF resultante (por ejemplo, a lo largo del eje Y o el eje paralelo al eje óptico del segundo prisma) dirigido por el segundo prisma puede determinarse a partir de la ley de Snell y expresarse como sigue.

$$\theta_y = \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_M}{n_{\text{air}}} \text{sen} \left( \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_{\text{aire}}}{n_M} \text{sen}(\rho \cos(\gamma) - 2\beta_\gamma) \right) + 2\beta_\gamma \right) \right) - \beta_\gamma \quad (\text{Ecuación 8})$$

30 donde  $n_M$  es el índice de refracción del material del prisma,  $n_{\text{aire}}$  es el índice de refracción del aire,  $\beta_\gamma$  es el ángulo de cuña recién derivado,  $\rho$  es el componente X del haz de RF que sale del primer prisma y  $\gamma$  es el desplazamiento angular entre los ejes ópticos del primer y segundo prismas.

35 Puesto que el componente X del haz de RF a lo largo del eje X (por ejemplo, el eje transversal perpendicular al eje óptico del segundo prisma) no ve eficazmente la cuña (por ejemplo, análoga a un segmento perpendicular al eje óptico vertical que proporciona el mismo espesor o ángulo de cuña), el componente X del ángulo resultante para el haz de RF dirigido está básicamente sin modificar. Por lo tanto, el componente X resultante del ángulo de dirección,  $\theta_x$ , se produce por el primer prisma y puede expresarse como sigue.

$$40 \quad \theta_x = \rho \text{sen}(\gamma) \quad (\text{Ecuación 9})$$

donde  $\rho$  es el ángulo del componente X del haz de RF que sale del primer prisma y  $\gamma$  es el desplazamiento angular entre los ejes ópticos del primer y segundo prismas.

45 La magnitud del ángulo del ángulo de dirección resultante,  $\theta_s$ , se proporciona mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (RSS) de  $\theta_x$  y  $\theta_y$  y puede expresarse como sigue.

$$\theta_s = \sqrt{\theta_x^2 + \theta_y^2} \quad (\text{Ecuación 10})$$

50 En general, se emplea una alineación arbitraria entre el eje óptico del segundo prisma y la cobertura de campo (FoR) en una implementación. Las fórmulas anteriores pueden ampliarse adicionalmente aplicando una o más transformaciones de coordenadas (por ejemplo, una rotación alrededor del eje Z o un eje paralelo con el eje de rotación), donde se obtiene la forma más general para dirigir el haz de RF y puede conseguirse cualquier punto en el FoR completo. Esto puede expresarse en coordenadas polares en el espacio de campo como sigue.

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\theta_y}{\theta_x}\right) + \phi_0 \quad (\text{Ecuación 11})$$

donde  $\phi$  representa el componente rotacional de la dirección,  $\phi_0$  representa la rotación entre el eje óptico del segundo prisma y el sistema de coordenadas de cobertura de campo,  $\theta_x$  representa el componente X del ángulo de dirección para el haz de RF y  $\theta_y$  representa el componente Y del ángulo de dirección para el haz de RF.

Haciendo referencia a la Figura 5, el prisma de cuña óptico 25 a modo de ejemplo (por ejemplo, invertido con respecto a las Figuras 4A y 6) es simétrico alrededor de un plano perpendicular al eje de rotación del prisma 60. El prisma 25 normalmente incluye un espesor nominal,  $t_m$ , en la porción próxima al vértice truncado. El prisma incluye un índice de refracción,  $n_1$ , mientras que el medio circundante (por ejemplo, aire) incluye un índice de refracción,  $n_0$ , normalmente aproximado a 1,00. Puede determinarse un índice de refracción promedio para el prisma 25 para una porción o línea de prisma (por ejemplo, a lo largo de la línea discontinua como se observa en la Figura 5) como una función de la distancia,  $y$ , de esa línea desde el borde de base del prisma 25 como sigue (por ejemplo, una media ponderada del índice de los valores de refracción para los segmentos de línea a lo largo de la línea basándose en la longitud del segmento de línea).

$$\bar{n}(y) = \frac{2n_1(D-y)\tan\beta + 2n_0y\tan\beta}{2D\tan\beta} \quad (\text{Ecuación 12})$$

donde  $n_1$  es el índice de refracción del prisma 25,  $n_0$  es el índice de refracción del aire,  $D$  es el diámetro o dimensión longitudinal del prisma 25,  $y$  es la distancia desde el borde del prisma y  $\beta$  es el ángulo de cuña del prisma 25. El espesor nominal,  $t_m$ , del prisma 25 no contribuye al índice de refracción promedio puesto que el índice de refracción del prisma permanece relativamente constante en las áreas abarcadas por el espesor nominal (por ejemplo, entre las líneas discontinuas verticales como se observa en la Figura 5).

El cambio lineal en el índice de refracción promedio del prisma 25 como una función de la distancia,  $y$ , determina el ángulo de dirección del prisma 25 como sigue.

$$\frac{d\bar{n}}{dy} = \frac{2n_0\tan\beta - 2n_1D\tan\beta}{2D\tan\beta} = \left(\frac{n_0 - n_1D}{D}\right)\tan\beta \quad (\text{Ecuación 13})$$

donde  $n_1$  es el índice de refracción del prisma 25,  $n_0$  es el índice de refracción del aire,  $D$  es el diámetro o dimensión longitudinal del prisma 25 y  $\beta$  es el ángulo de cuña del prisma 25. Por lo tanto, un prisma de cristal fotónico con un índice promedio constante de variación de refracción  $dn/dy$ , proporciona las mismas características de dirección de haz que el prisma de cuña 25 con un ángulo de cuña,  $\beta$ , expresado como sigue.

$$\beta = \arctan\left(\frac{d\bar{n}}{dy} \cdot \frac{D}{n_0 - n_1D}\right) \quad (\text{Ecuación 14})$$

donde  $n_1$  es el índice de refracción del prisma 25,  $n_0$  es el índice de refracción del aire y  $D$  es el diámetro o dimensión longitudinal del prisma 25.

Para crear un prisma de cristal fotónico que emule las propiedades físicas del prisma 25, una serie de orificios están dispuestos en un material padre sustancialmente de la misma manera anteriormente descrita para crear el perfil de índice de refracción promedio deseado anteriormente descrito. Sin embargo, el índice de refracción para un prisma de cristal fotónico es equivalente a la raíz cuadrada de la constante dieléctrica del prisma (por ejemplo, para materiales que muestran bajas tangentes de pérdida que se prefieren para la dirección de haces de RF de prismas). En el caso de materiales que incluyen absorción o dispersión significativas, el índice de refracción es un valor complejo con componentes real e imaginario. El componente imaginario proporciona una medida de pérdida. Puesto que la magnitud del componente imaginario (o pérdida) resta valor del componente real (o constante dieléctrica), la constante dieléctrica se diferencia de la relación anterior en respuesta a pérdidas significativas. El índice de refracción efectivo a lo largo de una porción o línea del prisma de cristal fotónico se obtiene tomando el índice de refracción volumétrico promedio a lo largo de esa línea (por ejemplo, una media ponderada del índice de refracción (o constantes dieléctricas de los materiales y orificios) a lo largo de la línea basándose en el volumen de una manera similar a la anteriormente descrita). El ángulo de dirección,  $\theta_s$  o  $\phi$ , del prisma de cristal fotónico resultante puede determinarse basándose en la ley de Snell utilizando el índice de refracción efectivo del prisma de cristal fotónico como el índice de refracción del material,  $n_M$ , en el análisis anteriormente descrito. La determinación promedio volumétrica debería considerar las regiones por encima y por debajo de la línea (por ejemplo, análogas al valor de distancia,  $y$ , anteriormente descrito). La forma física de los orificios puede variar dependiendo del proceso de

fabricación. Un proceso de fabricación a modo de ejemplo incluye perforar orificios en los materiales del prisma.

La orientación de los orificios definidos en el prisma de cristal fotónico puede ser normal a las caras delantera y trasera del prisma (por ejemplo, en una dirección del eje de rotación). Las dimensiones de los orificios son suficientemente pequeñas para posibilitar que los campos electromagnéticos de fotones (por ejemplo, manipulados por la estructura de cristal fotónico) a influenciarse por el índice de refracción promedio a través del volumen de prisma, interactúen con, o manipulen, los fotones. En general, el diámetro de los orificios no supera (por ejemplo, menor o igual a) un cuarto de la longitud de onda del haz de interés, mientras el espaciado entre los orificios no supera (por ejemplo, menor o igual a) la longitud de onda de ese haz.

Por consiguiente, un volumen de interacción para el prisma de cristal fotónico incluye una onda cuadrada (por ejemplo, un área definida por el cuadrado de la longitud de onda del haz) como se observa normal al eje de propagación. Puesto que los cambios en la estructura de cristal fotónico pueden crear un desajuste de impedancia a lo largo del eje de propagación, la longitud de interacción o espesor del prisma de cristal fotónico incluye una dimensión corta. En general, esta dimensión del prisma de cristal fotónico a lo largo del eje de propagación (por ejemplo, o espesor) no debería superar 1/16 de la longitud de onda del haz para evitar impactar la propagación de manera excesiva (por ejemplo, produciendo reflejos traseros o resonancias de etalon). Por lo tanto, perforar orificios a través del espesor del material es beneficioso puesto que esta técnica asegura cambio mínimo al índice de refracción a lo largo del eje de propagación.

A modo de ejemplo, el espaciado de los orificios en el material padre que proporciona un índice de refracción promedio mínimo (por ejemplo, definido por el diámetro de orificio más grande permitido y determinado por la longitud de onda de operación como se ha descrito anteriormente) incluye los orificios espaciados entre sí en una disposición hexagonal de triángulos equiláteros (por ejemplo, cada orificio a un vértice correspondiente de un triángulo) con un espesor de pared mínimo entre orificios para proporcionar una resistencia mecánica adecuada. Esto es un espaciado para orificios que coincide con la parte más delgada de un prisma convencional (por ejemplo,  $y = D$  en la Ecuación 12).

A la inversa, un espaciado de los orificios en el material padre que puede proporcionar el índice de refracción promedio más grande es un prisma de cristal fotónico sin la presencia de los orificios. Sin embargo, la necesidad de un índice de refracción promedio que varíe suavemente y control eficaz de la dirección de la energía del haz puede imponer limitaciones en esta configuración. Si el prisma de cristal fotónico está configurado para incluir orificios del mismo tamaño (por ejemplo, ya que puede ser económicamente factible debido a limitaciones de fabricación en las máquinas, tales como centros de perforación automatizados), el índice de refracción promedio máximo se obtendría con un mínimo de un orificio por volumen de interacción. Esta región del prisma de cristal fotónico corresponde a la parte más gruesa del prisma 25 (por ejemplo,  $y = 0$  en la Ecuación 12).

Las características del prisma deseadas (o ángulos de dirección,  $\theta_R$  y  $\theta_S$ , para el primer y segundo prismas) pueden seleccionarse, donde los ángulos de cuña del prisma,  $\beta$ , que proporcionan estas características pueden determinarse a partir de las ecuaciones anteriores (por ejemplo, las Ecuaciones 1 - 11). Una vez que se determina el ángulo de cuña, los prismas de cristal fotónico puede configurarse con una serie de orificios de acuerdo con los perfiles de índice de refracción (por ejemplo, determinados a partir de los valores de índice de refracción de cambio y promedio a partir de las Ecuaciones 13 - 14) que proporcionan las características deseadas de los prismas con estos ángulos de cuña. El ángulo de cuña,  $\beta$ , para el primer y segundo prismas 20, 21 puede ser el mismo o diferente ángulo dependiendo de las características deseadas.

Por lo tanto, basándose en un ángulo de dirección deseado,  $\theta_S$  o  $\phi$ , para el haz, el controlador 40 (Figura 1) puede utilizar las ecuaciones anteriores (por ejemplo, Ecuaciones 6 - 11 con las propiedades conocidas de los prismas (por ejemplo, índices de refracción del material y del aire, ángulo de cuña, etc.)) para determinar el desplazamiento angular,  $\gamma$ , necesario entre el primer y segundo prismas de cristal fotónico, y posteriormente controlar los motores 30 para situar los prismas de una manera apropiada para dirigir el haz de una manera deseada.

La estructura de cristal fotónico de los prismas 20, 21 puede producirse mediante diversos otros procesos de fabricación. Por ejemplo, los prismas 20, 21 pueden producirse utilizando máquinas de estereolitografía. En este caso, el tamaño, forma y espaciado de los orificios 14 puede definirse de manera más elaborada para posibilitar aproximaciones más cercanas al perfil de índice de refracción promedio necesario. Además, la forma y tamaño de los orificios 14 puede variar (por ejemplo, forma no circular y dimensiones de orificio no uniformes). A modo de ejemplo, el índice de refracción promedio puede variarse seleccionando un espaciado de orificios y ajustando los diámetros de orificio como una función de la distancia desde el borde del prisma. Además, las máquinas de estereolitografía facilitan la tarea de creación de estructuras en capas que tienen en cuenta la variación en el índice de refracción a lo largo de la dirección de propagación.

Haciendo referencia de vuelta a la Figura 2, el uso de un material padre con un valor de constante dieléctrica alta para la capa de prisma 10 da como resultado un prisma más ligero, pero tiende a producir el prisma sin la propiedad de que está ajustado en impedancia. La ausencia de ajuste de impedancia crea reflejos de superficie y finalmente

requiere más potencia para operar un sistema de RF. Por consiguiente, los prismas 20, 21 incluyen capas de adaptación de impedancia 22 aplicadas a la capa del prisma de cristal fotónico 10 para minimizar estos reflejos. La constante dieléctrica ideal de las capas de adaptación de impedancia 22 es la raíz cuadrada de la constante dieléctrica de la capa de prisma 10. Sin embargo, debido al espaciado de orificio variable en la capa de prisma como se ha descrito anteriormente, la constante dieléctrica para la capa de prisma es variable.

Para compensar la constante dieléctrica variable de la capa de prisma, las capas de adaptación de impedancia 22 incluyen de manera similar una estructura de cristal fotónico. Esta estructura puede construirse de la manera anteriormente descrita para la capa de prisma e incluye un material padre 32 con una constante dieléctrica promedio que se aproxima a la raíz cuadrada de la constante dieléctrica promedio del material padre 12 usada para la capa de prisma 10. El material padre puede ser de cualquier forma o tamaño y puede ser de cualquier material adecuado que incluya las propiedades de constante dieléctrica deseadas. A modo de ejemplo únicamente, el material padre 32 es sustancialmente cilíndrico en forma de un disco con sustancialmente superficies delantera y trasera planares.

Las capas de adaptación de impedancia 22 normalmente incluyen un patrón de espaciado de orificios similar al de para la capa de prisma 10, pero con menores variaciones para asegurar una relación de raíz cuadrada correcta entre la constante dieléctrica promedio local de la capa de prisma y la correspondiente constante dieléctrica promedio local de las capas de adaptación de impedancia. En otras palabras, el patrón de espaciado de orificios está dispuesto para proporcionar un perfil de índice de refracción promedio (por ejemplo, Ecuación 12) (o constante dieléctrica) equivalente a la raíz cuadrada del perfil de índice de refracción promedio (o constante dieléctrica) de la capa (por ejemplo, la capa de prisma 10) que está ajustada en impedancia. En particular, el espesor de la capa de adaptación de impedancia es en incrementos de números enteros de  $(2n - 1)\lambda/4$  ondas o longitud de onda (por ejemplo,  $1/4$  de onda,  $3/4$  de onda,  $5/4$  de onda, etc.) y es proporcional a la raíz cuadrada del índice de refracción de la capa de prisma que está ajustada en impedancia como sigue,

$$t\sqrt{\bar{n}(y)} = (2n - 1)\lambda/4 \quad (\text{Ecuación 15})$$

donde  $t$  es el espesor de la capa de impedancia,  $\lambda$  es la longitud de onda del haz de interés,  $n$  representa una instancia de serie y  $\bar{n}(y)$  es el índice de refracción promedio de la capa de prisma como función de la distancia,  $y$ , forma el borde de prisma.

Conseguir un índice de refracción inferior con una capa de adaptación de impedancia puede volverse poco factible debido a la cantidad de orificios requeridos en el material. Por consiguiente, los sistemas que requieren capas de adaptación de impedancia deberían empezar con un análisis del índice de refracción promedio mínimo que es probable que sea necesario para la integridad mecánica, proporcionando de esta manera el índice de refracción requerido para la capa de adaptación de impedancia. El índice de refracción promedio del dispositivo al que se hace coincidir esta capa de adaptación de impedancia debería ser en consecuencia el cuadrado del valor conseguido por la capa de adaptación de impedancia.

Un espesor ideal para las capas de adaptación de impedancia es un cuarto de la longitud de onda de la señal de interés dividido por la raíz cuadrada del (promedio) índice de refracción de la capa de adaptación de impedancia (por ejemplo, la Ecuación 15, donde el índice de refracción es la raíz cuadrada de la constante dieléctrica como se ha descrito anteriormente). Debido a la variabilidad de la constante dieléctrica de la capa de adaptación de impedancia, puede utilizarse una operación de mecanizado secundaria para aplicar curvatura a las capas de adaptación de impedancia y mantener un espesor de cuarto de onda desde el centro de la capa al borde de la capa. Las capas de adaptación de impedancia pueden mejorar la eficacia en el orden del 20 %.

Un patrón de iluminación típico en una antena parabólica es una intensidad de campo exponencial truncado, o un gaussiano truncado. El gaussiano se trunca en el borde de la antena parabólica puesto que el campo debe cortarse en algún punto. En el borde de la antena parabólica, la intensidad de campo debe ir a cero, aún para una disposición de bocina de alimentación típica, la intensidad del campo en el borde de la antena parabólica es mayor que cero. Esto crea un problema en el campo lejano, donde las discontinuidades derivadas de la función de iluminación de apertura crean lóbulos laterales innecesariamente intensos. Los lóbulos laterales son la porción de un haz de RF que se dictan por la difracción ya que son necesarios para propagar el haz desde la apertura de la antena. En el campo lejano. El haz principal sigue una divergencia de haz que está en el orden de dos veces la longitud de onda del haz dividido por el diámetro de apertura. El patrón de intensidad real sobre el campo lejano completo, sin embargo, se aproxima con precisión como la transformada de Fourier de la función de iluminación de apertura.

Los bordes afilados en la función de iluminación de apertura o cualquier derivada de orden bajo crean frecuencias espaciales en el campo lejano. Estas frecuencias espaciales se realizan como haces de potencia inferior que emanan desde la antena de RF, y se denominan lóbulos laterales. Los lóbulos laterales contribuyen a la capacidad de detección de un haz de RF, y hacen el haz más fácil de interferir o escuchar clandestinamente. Para reducir la aparición de estos tipos de actividades adversas, los lóbulos laterales necesitan reducirse. Una técnica común para reducir lóbulos laterales es crear una función de iluminación de apertura que es continua, donde todas las derivadas de la función son también continuas. Un ejemplo de una función de iluminación de este tipo es una función seno

cuadrado. El centro de la apertura incluye una intensidad arbitraria de unidad, a medida que la intensidad se atenúa siguiendo una función seno cuadrado del radio de apertura hacia el borde de apertura exterior, donde la intensidad equivale a cero.

5 La función seno cuadrado es una función sencilla que evidentemente tiene derivadas continuas. Sin embargo, pueden usarse otras funciones, y pueden ofrecer otras ventajas. En cualquier caso, la función de iluminación debería elegirse para incluir algún nivel de absorción del patrón de iluminación de bocina de alimentación característico (por ejemplo, de otra manera, se requeriría ganancia).

10 Para reducir lóbulos laterales, el prisma 20 puede incluir adicionalmente la máscara de apodización 24 que es verdaderamente de absorción para un caso ideal. La máscara de apodización se construye preferentemente para incluir una estructura de cristal fotónico (Figura 2) similar a las estructuras de cristales fotónicos anteriormente descritas para el prisma y capas de adaptación de impedancia. En particular, los orificios 14 pueden definirse en un material padre 42 con un coeficiente de absorción apropiado mediante cualquier técnica adecuada (por ejemplo, perforación, etc.). Los orificios están dispuestos o definidos en el material padre para proporcionar el perfil de absorción preciso deseado. El material padre puede ser de cualquier forma o tamaño y puede ser de cualquier material adecuado que incluya las propiedades de absorción deseadas. A modo de ejemplo únicamente, el material padre 42 es sustancialmente cilíndrico en forma de un disco con superficies delantera y trasera sustancialmente planares.

20 La absorción del material se analiza para proporcionar el perfil de absorción necesario como una función de radio de haz (a diferencia del índice de refracción). Los orificios 14 se colocan en el material absorbente padre 42 para crear una absorción promedio sobre un volumen sustancialmente de la misma manera anteriormente descrita para conseguir el perfil de índice de refracción promedio para la capa de prisma. La función real para el perfil de apodización puede ser bastante compleja si se requiere una forma de haz precisa. Sin embargo, una fórmula sencilla aplicada en el borde de la apertura es suficiente para conseguir un beneficio notable.

25 Un ejemplo de una función de apodización que puede aproximar una derivación de iluminación de borde deseada para controlar lóbulos laterales es una que incluye una función  $1/r^2$ , donde  $r$  representa el radio del haz o apertura. Por ejemplo, un prisma con una función de iluminación de apertura incidente que es gaussiana en perfil y una intensidad de borde del 20 % (de la intensidad pico en el centro) puede asociarse con una función de derivación de borde,  $\psi(r)$ , como sigue.

$$\psi(r) = \left( \frac{1}{3(1-r)} \right)^2 + 1 \quad \text{(Ecuación 16)}$$

35 El término multiplicador denominador (por ejemplo, tres) es una consecuencia de la función de iluminación que incluye el 20 % de energía en el borde de la apertura. Este multiplicador puede variar de acuerdo con el valor de energía en el borde de la apertura. La ecuación 16 proporciona la relación de absorción como una función del radio, que puede resumirse como la relación de energía absorbida durante la energía transmitida. El valor para el radio se normaliza (por ejemplo, radio de  $r_{max} = 1$ ) por simplicidad. Esta función se aproxima estrechamente a la función de apodización ideal. Sin embargo, pueden desearse variaciones menores a la función para un sistema optimizado.

40 Para realizar esta función en la máscara de apodización de cristal fotónico 24, se coloca una serie de orificios 14 en el material padre 42 que es altamente absorbente a ondas de radio (por ejemplo, material cargado con carbono, etc.). La absorción promedio del material (por ejemplo, una media ponderada de la absorción del material y los orificios (por ejemplo, los orificios no deberían tener absorción) basándose en el volumen y determinada de una manera similar a la media ponderada para la constante dieléctrica anteriormente descrita) a través del volumen de interacción del prisma proporciona el valor de la absorción para la máscara de apodización. La máscara de absorción dividida por el caso no apodizado debería producir un valor aproximado resultante a partir de la Ecuación 16. Por lo tanto, los orificios 14 se colocan en el material padre 42 de una manera para proporcionar los valores de absorción para producir el perfil de absorción deseado. La máscara de apodización 24 puede configurarse con los orificios 14 espaciados estrechamente juntos cuando esta capa está montada a otras capas del prisma. En este caso, la integridad mecánica para la máscara de apodización se proporciona mediante las capas a las que está montada la máscara de apodización, posibilitando de esta manera la disposición estrechamente espaciada de los orificios 14.

55 La máscara de apodización es sencilla de fabricar a través del uso de técnicas de fabricación asistidas por ordenador como se ha descrito anteriormente. La ecuación 16 puede modificarse para adaptar las alimentaciones que no producen distribuciones de energía con un perfil gaussiano y conseguir los resultados deseados.

60 Los prismas 20, 21 pueden utilizarse para crear virtualmente cualquier tipo de patrón de haz deseado. La estructura de cristal fotónico puede configurarse para crear cualquier tipo de dispositivo (por ejemplo, cuasi ópticos, lentes, prismas, divisores de haz, filtros, polarizadores, etc.) sustancialmente de la misma manera anteriormente descrita

5 simplemente ajustando las dimensiones de orificio, geometrías y/o disposiciones en un material dieléctrico padre para conseguir la dirección de haz deseada y/o características de formación de haz. Por ejemplo, un prisma puede configurarse para incluir tanto propiedades de lente como de prisma, donde los orificios pueden definirse en el material dieléctrico para proporcionar propiedades tanto de lente como de prisma. El dispositivo de dirección de haz  
 10 puede emplear como alternativa este tipo de estructura de cristal fotónico incluyendo propiedades de lente y prisma en lugar del prisma 21 para dirigir y enfocar el haz de RF. Por lo tanto, pueden producirse varias estructuras de cristal fotónico cada una con un patrón de orificio diferente (por ejemplo, incluyendo propiedades de prismas, lentes y/u otros dispositivos) para proporcionar una serie de estructuras intercambiables (por ejemplo, prismas u otros dispositivos) para un sistema de dirección de haz de RF (Figura 1). En este caso, un prisma de cristal fotónico puede sustituirse fácilmente en el dispositivo de dirección de haz con otras estructuras de cristales fotónicos (por ejemplo, con propiedades de lente, prisma y/u otras deseadas) incluyendo diferentes patrones de orificio para conseguir patrones de haz y/o de dirección deseados (y diferentes).

15 Las realizaciones de la presente invención pueden utilizarse en varias aplicaciones. Por ejemplo, las realizaciones de la presente invención pueden utilizarse para niveles moderados de desvío de haz de radio (por ejemplo, tales como los ofrecidos por un posicionador de panorámica-inclinación) cuando el conjunto antena/prisma combinado está montado en un rotador (por ejemplo, tal como un Yaesu G-1000DXA o unidad similar) convencional (por ejemplo, azimutal únicamente). Además, las realizaciones de la presente invención pueden utilizarse para niveles moderados de desvío de haz de radio en sistemas que son poco prácticos de implementar usando conjuntos en fase tradicionales o técnicas de dirección por cardán. Además, las realizaciones de la presente invención pueden aplicarse para separación espacial de haces de radio, cada uno a diferentes frecuencias, o a un conjunto de generadores o detectores específicos de frecuencia.

25 Además, las realizaciones de la presente invención pueden ser ventajosas para escenarios montados en mástil (por ejemplo, un mástil en un vehículo a motor u otro (por ejemplo, un vehículo terrestre, etc.)) puesto que los prismas de cristales fotónicos proporcionan enorme acoplamiento mecánico reducido. Por ejemplo, el acoplamiento mecánico en los sistemas de compensación azimut/elevación convencionales tiende a producir balanceo añadido en escenarios montados en mástil que pueden volverse un problema incontrolado. Los prismas de cristales fotónicos de las realizaciones de la presente invención emplean acoplamiento enormemente reducido y pueden ser ventajosos en aplicaciones móviles que incluyen mástiles de antena que se balancean que de otra manera serían demasiado problemáticos para los sistemas convencionales, especialmente para antenas de frecuencia superiores que incluyen direccionalidad mayor.

35 Incluso con el acoplamiento enormemente reducido de las realizaciones de la presente invención, el balanceo indeseable en ciertas configuraciones, por ejemplo, configuraciones montadas en mástil, puede aún tener lugar. Es decir, ambos prismas 20, 21 pueden moverse juntos indeseablemente junto con una plataforma a la que están montados los prismas. Para tratar cualquier dirección errónea como consecuencia de tal movimiento, los sensores 29 (Figura 1) pueden incluir también sensores de acelerómetro (o de inclinación) montados en las cercanías de los prismas 20, 21. Tales sensores pueden usarse para compensar cualquier inestabilidad en la plataforma a la que está montado el dispositivo de dirección de haz 50 y proporcionar de esta manera un haz de RF más estabilizado.

45 Más específicamente, un sensor 29 asociado al prisma 20 puede diseñarse, montarse y/o configurarse para detectar movimiento a la izquierda/derecha (o alabeo) de la plataforma, y un sensor 29 asociado al prisma 21 puede asignarse, montarse y/o configurarse para detectar movimiento hacia delante/hacia detrás (o cabeceo) de la plataforma. En una configuración de este tipo, los dos acelerómetros únicamente necesitan ser sensores de eje único. Sin embargo, los expertos en la materia apreciarán que, los acelerómetros de múltiples ejes están disponibles fácilmente en el mercado (por ejemplo, a partir de Analog Devices, Norwood, MA) y por lo tanto la realización del acelerómetro de dos ejes únicos descrita puede, como alternativa, sustituirse por una realización de sensor de dos ejes único. Como alternativa, puede emplearse una pluralidad de sensores de múltiples ejes para fines de redundancia y/o compensación. Como se muestra en la Figura 1, los sensores 29 pueden montarse directamente en los motores 30, o pueden montarse espaciados de los motores 30. Puede monitorizarse también la guiñada. Finalmente, consideraciones de diseño específicas, coste y otros factores dictarán si se han de implementar acelerómetros de único eje o múltiples (y cuántos) y dónde precisamente deberían localizarse tales sensores.

55 La Figura 7 representa un diagrama de bloques de un circuito 700 a modo de ejemplo (partes del cual pueden realizarse en el controlador 40 de la Figura 1) de acuerdo con una realización de la presente invención. Como se muestra, se alimenta un microcontrolador 730 a través de un convertidor de potencia 710, según sea necesario, y está configurado para enviar comandos a accionadores de motor 750 que respectivamente accionan los motores 30 para ajustar la orientación de los prismas 20, 21. Una interfaz de comandos externa puede proporcionarse también, por ejemplo, para proporcionar acceso al microcontrolador para reprogramar o depurar el mismo.

65 Como se muestra adicionalmente en la Figura 7, las señales (por ejemplo, señales de tensión analógica o señales digitales) desde los sensores de acelerómetro 29 se proporcionan o transmiten (por ejemplo, inalámbricamente) al microcontrolador 730. Las señales son representativas de fuerzas de aceleración detectadas por los sensores. El microcontrolador 730 a continuación procesa las señales recibidas y traduce las mismas en comandos apropiados a los accionadores de motor 750, que, a su vez, accionan motores 30 para rotar los prismas 20, 21 en una dirección

apropiada para compensar, por ejemplo, el balanceo que se ha detectado por los sensores.

Un sensor de compensación de temperatura 770 puede proporcionarse también para monitorizar temperatura ambiente y proporcionar información al microcontrolador 730 suficiente para tener en cuenta cambios, por ejemplo, oscilaciones, en las señales recibidas desde los sensores 29.

La Figura 8 ilustra un enfoque más mecánico para compensación para, por ejemplo, balanceo, u otras necesidades de estabilización. En esta realización, en lugar de usar sensores de inclinación o acelerómetros, se proporcionan los contrapesos 810, 820. Tales contrapesos pueden ser en forma de un péndulo, pero puede emplearse cualquier forma que proporcione suficiente peso y tiempo de reacción adecuada. En el caso de movimiento izquierdo/derecho, el contrapeso 810 puede acoplarse directamente (o indirectamente) al prisma 20 de manera que cualquier balanceo se amortiguará por el contrapeso. En el caso de movimiento hacia delante/hacia detrás, el contrapeso 820 puede acoplarse al prisma 21 mediante un mecanismo de transmisión por engranajes en ángulo recto 830, puesto que el movimiento hacia delante/hacia detrás tiene lugar en un plano que es perpendicular a un plano en el que rota el prisma 21. En esta realización, puede ser deseable tener un mecanismo de embrague (no mostrado) para los motores 30 de manera que después de que se rotan los prismas 20, 21 a posiciones deseadas, los motores se desengranan y se permite que la técnica de compensación mecánica posteriormente controle la orientación de los prismas. Los contrapesos 810, 820 podrían usarse también como parte de un dispositivo de inclinación electromecánica, señales a partir del cual podrían pasarse al microcontrolador 730.

En suma, puede ser deseable incluir un dispositivo o técnica de compensación o estabilización a las metodologías y dispositivos de dirección de haz y dispositivos descritos en el presente documento para compensar movimiento, tales como balanceo de mástil, y, de hecho, estabilizar, o dirigir adicionalmente haz de RF 7.

Se apreciará que las realizaciones anteriormente descritas e ilustradas en los dibujos representan únicamente unas pocas de las muchas maneras de implementar un método y aparato para dirigir haces de radiofrecuencia que utilizan estructuras de cristales fotónicos.

Los prismas pueden incluir cada uno cualquier cantidad de capas dispuestas en cualquier manera adecuada. Las capas pueden ser de cualquier forma, tamaño o espesor y pueden incluir cualquier material adecuado. Los prismas pueden utilizarse para señales en cualquier intervalo de frecuencia deseado. La capa de prisma puede ser de cualquier cantidad, tamaño o forma y puede construirse de cualquier material adecuado. Cualquier material adecuado de cualquier cantidad puede utilizarse para proporcionar las constantes dieléctricas variables (por ejemplo, una pluralidad de materiales sólidos en comparación con aire u otro fluido, etc.). La capa de prisma puede utilizarse con o sin una capa de adaptación de impedancia y/o máscara de apodización. La capa de prisma padre y/u otros materiales pueden ser de cualquier cantidad, tamaño, forma o espesor, pueden ser de cualquier material adecuado (por ejemplo, plásticos (por ejemplo, un polietileno de alta densidad, etc.), laminado de RF, vidrio, etc.) y pueden incluir cualquier constante dieléctrica adecuada para una aplicación. El material padre preferentemente incluye una tangente de pérdida baja al intervalo de frecuencia de interés. La capa de prisma puede configurarse (o incluir varias capas que están configuradas) para proporcionar cualquier efecto de dirección deseado o ángulo de refracción o para emular cualquier propiedad de un material correspondiente o prisma óptico, lente y/u otro dispositivo de manipulación de haz. La capa de prisma puede configurarse adicionalmente para incluir cualquier combinación de características de formación de haces (por ejemplo, lente) y/o de dirección de haces (por ejemplo, prisma).

Los orificios para la capa de prisma pueden ser de cualquier cantidad, tamaño o forma, y pueden definirse en el padre y/u otro material en cualquier disposición, orientación o localización para proporcionar las características deseadas (por ejemplo, efecto de dirección de haz, índice de refracción, constante dieléctrica, etc.). Las diversas regiones del material padre de la capa de prisma pueden incluir cualquier disposición de orificio deseada y pueden definirse en cualquier localización adecuada en la que el material proporcione las características deseadas. Los orificios pueden definirse en el padre y/u otro material mediante cualquier técnica o máquina de fabricación convencional u otra (por ejemplo, técnicas de fabricación asistidas por ordenador, estereolitografía, máquinas bidimensionales, corte por chorro de agua, corte por láser, etc.). Como alternativa, la capa de prisma puede incluir o utilizar materiales sólidos o fluidos para proporcionar las constantes dieléctricas variables.

La capa de adaptación de impedancia puede ser de cualquier cantidad, tamaño o forma, y puede construirse de cualquier material adecuado. Cualquier material adecuado de cualquier cantidad puede utilizarse para proporcionar las constantes dieléctricas variables (por ejemplo, una pluralidad de materiales sólidos, materiales sólidos en combinación con aire u otro fluido, etc.). El padre y/u otros materiales de la capa de adaptación de impedancia pueden ser de cualquier cantidad, tamaño, forma o espesor, pueden ser cualquier material adecuado (por ejemplo, plásticos (por ejemplo, un polietileno de alta densidad, etc.), laminado de RF, vidrio, etc.) y pueden incluir cualquier constante dieléctrica adecuada para una aplicación. El material padre incluye preferentemente una tangente de baja pérdida en el intervalo de frecuencia de interés. La capa de adaptación de impedancia puede configurarse (o incluir varias capas que están configuradas) para proporcionar adaptación de impedancia para cualquier capa del prisma deseada.

- Los orificios para la capa de adaptación de impedancia pueden ser de cualquier cantidad, forma o tamaño, y pueden definirse en el padre y/u otro material en cualquier disposición, orientación o localización para proporcionar las características deseadas (por ejemplo, adaptación de impedancia, índice de refracción, constante dieléctrica, etc.). Los orificios pueden definirse en el padre y/u otro material mediante cualquier técnica o máquina de fabricación convencional u otra (por ejemplo, técnicas de fabricación asistidas por ordenador, estereolitografía, máquinas bidimensionales, corte por chorro de agua, corte por láser, etc.). Como alternativa, la capa de adaptación de impedancia puede incluir o utilizar materiales sólidos o fluidos para proporcionar las constantes dieléctricas variables.
- La máscara de apodización puede ser de cualquier cantidad, tamaño o forma, y puede construirse de cualquier material adecuado. Cualquier material adecuado de cualquier cantidad puede utilizarse para proporcionar el coeficiente de absorción deseado o perfil de absorción (por ejemplo, una pluralidad de materiales sólidos, materiales sólidos en combinación con aire u otro fluido, etc.). El padre y/u otro material de la máscara de apodización puede ser de cualquier cantidad, tamaño, forma o espesor, y puede ser cualquier material adecuado (por ejemplo, plásticos (por ejemplo, un polietileno de alta densidad, etc.), laminado de RF, material cargado con carbono, etc.) y puede incluir cualquier características de radio u otra absorción de onda para una aplicación. El material padre se implementa preferentemente mediante un material altamente absorbente a ondas de radio. La máscara de apodización puede configurarse (o incluir varias capas que están configuradas) para proporcionar el perfil de absorción deseado.
- Los orificios para la máscara de apodización pueden ser de cualquier cantidad, tamaño o forma, y pueden definirse en el padre y/u otro material en cualquier disposición, orientación o localización para proporcionar las características deseadas (por ejemplo, supresión de lóbulo lateral, absorción, etc.). Los orificios pueden definirse en el padre y/u otro material mediante cualquier técnica o máquina de fabricación convencional u otra (por ejemplo, técnicas de fabricación asistida por ordenador, estereolitografía, máquinas bidimensionales, corte por chorro de agua, corte por láser, etc.). Como alternativa, la máscara de apodización puede incluir o utilizar otros materiales sólidos o fluidos para proporcionar las propiedades de absorción. La máscara de apodización puede configurarse para proporcionar las propiedades de absorción deseadas para cualquier función de derivación adecuada.
- Las capas del prisma (por ejemplo, capa de prisma, adaptación de impedancia, máscara de apodización, etc.) pueden fijarse de cualquier manera mediante cualquier técnica convencional u otra (por ejemplo, adhesivos, etc.). El prisma puede utilizarse en combinación con cualquier fuente de señal adecuada (por ejemplo, bocina de alimentación, antena, etc.), o el receptor de señal para dirigir señales entrantes. El prisma u otra estructura de cristal fotónico puede utilizarse para crear virtualmente cualquier tipo de patrón de haz deseado, donde varios prismas o estructuras pueden producirse cada uno con diferente patrón de orificio para proporcionar una serie de estructuras intercambiables para proporcionar diversos haces para RF u otros sistemas. Además, la estructura de cristal fotónico puede utilizarse para crear cualquier dispositivo de manipulación de haz (por ejemplo, prisma, lente, divisores de haces, filtros, polarizadores, etc.) ajustando simplemente las dimensiones del orificio, geometrías y/o disposición en el padre y/u otros materiales para obtener la dirección de haz y/o características de formación de haces deseadas.
- El dispositivo de dirección de haz puede incluir cualquier cantidad de componentes (por ejemplo, motores, conjuntos rotatorios, controlador, sensores, etc.) dispuestos en cualquier forma deseada. El dispositivo de dirección de haz puede emplear cualquier cantidad de prismas y/u otros dispositivos de manipulación de haces dispuestos y/u orientados en cualquier manera deseada para dirigir cualquier tipo de haz en cualquier manera deseada. Los conjuntos rotatorios pueden ser de cualquier cantidad, forma o tamaño y pueden implementarse mediante cualquier conjunto convencional u otros. Los conjuntos rotatorios pueden incluir cualquier mecanismo de rotación adecuado (por ejemplo, anillo rotatorio, plataforma u otra estructura adecuada) para asegurar y rotar un dispositivo de manipulación de haz (por ejemplo, prisma, etc.) y pueden disponerse en cualquier localización adecuada. Los conjuntos rotatorios pueden manipular los dispositivos de dirección de haz (por ejemplo, prisma, etc.) a cualquier orientación adecuada para dirigir el haz de una manera deseada. Los motores pueden ser de cualquier cantidad, forma o tamaño y pueden implementarse mediante cualquier motor convencional u otros o accionadores para rotar los dispositivos de manipulación de haz (por ejemplo, prisma, etc.).
- El controlador puede ser de cualquier cantidad y puede implementarse mediante cualquier controlador o procesador u otro convencional (por ejemplo, microprocesador, controlador, circuitería de control, lógica, etc.). Los sensores pueden ser de cualquier cantidad y pueden implementarse mediante cualquier sensor convencional u otros (por ejemplo, codificadores, potenciómetros, etc.) para medir la rotación de los dispositivos de manipulación de haz (por ejemplo, prisma, etc.) y/u otras condiciones de sistema. Los sensores pueden estar dispuestos en cualquier localización adecuada para medir la rotación (por ejemplo, motores, conjuntos rotatorios, etc.) del dispositivo de manipulación de haz (por ejemplo, prisma, etc.). El dispositivo de dirección de haz puede emplearse con cualquier fuente de señal adecuada (por ejemplo, antena, bocina de alimentación, etc.) o sistema de RF para proporcionar la dirección de haz deseada, donde el dispositivo de dirección de haz puede situarse en cualquier localización adecuada para recibir y dirigir un haz.
- Se ha de entender que los términos “superior”, “inferior”, “delantero”, “trasero”, “lateral”, “altura”, “longitud”, “anchura”, “superior”, “inferior”, “espesor”, “vertical”, “horizontal” y similares se usan en el presente documento simplemente para describir puntos de referencia y no limitan las realizaciones de la presente invención a ninguna orientación o

configuración particular.

5 A partir de la descripción anterior, se apreciará que la invención pone a disposición un método y aparato novedosos para dirigir haces de radiofrecuencia que utilizan estructuras de cristales fotónicos, en el que un dispositivo de dirección de haz utiliza estructuras de cristales fotónicos (por ejemplo, prismas, etc.) para dirigir o controlar transmisiones de haces de RF.

10 Habiendo descrito las realizaciones preferidas de un nuevo y mejorado método y aparato para dirigir haces de radiofrecuencia utilizando estructuras de cristales fotónicos, se cree que otras modificaciones, variaciones y cambios se sugerirán por los expertos en la materia en vista de las enseñanzas expuestas en el presente documento. Se ha de entender por lo tanto que todas tales variaciones, modificaciones y cambios se cree que caen dentro del alcance de la presente invención como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para manipular un haz de radiofrecuencia (RF) procedente de una plataforma y para compensar la dirección errónea del haz de RF como resultado del balanceo de la plataforma, que comprende:
- 5 una antena para transmitir un haz de RF (7);  
una plataforma;  
un primer prisma (20) montado en la plataforma;  
un segundo prisma (21) montado en la plataforma;
- 10 un controlador (40) que controla la rotación del primer prisma y del segundo prisma para dirigir el haz de RF (7) que se transmite sucesivamente a través del primer prisma y del segundo prisma; y  
un dispositivo de compensación (29), en coordinación con el controlador (40), configurado para compensar el movimiento de la plataforma haciendo rotar adicionalmente el primer prisma y el segundo prisma en respuesta al movimiento de la plataforma,
- 15 en el que  
el primer prisma (20) y el segundo prisma (21) comprenden cada uno, una estructura de cristal fotónico que produce respectivamente un campo electromagnético para dirigir el haz de RF (7),  
la estructura de cristal fotónico comprende orificios donde el diámetro de los orificios no supera un cuarto de una longitud de onda del haz de RF, mientras que el espaciado entre los orificios no supera la longitud de onda del haz de RF,
- 20 el primer y el segundo prismas comprenden una máscara de apodización fabricada de un material absorbente (42) para reducir lóbulos laterales, el dispositivo de compensación (29) comprende un acelerómetro y un sensor de compensación de temperatura (770).
- 25 2. El aparato de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de compensación (29) comprende un sensor de inclinación.
3. El aparato de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de compensación (29) comprende un contrapeso (810, 820) acoplado a al menos uno del primer prisma (20) y del segundo prisma (21).
- 30 4. El aparato de la reivindicación 3, en el que el dispositivo de compensación (29) comprende adicionalmente un mecanismo de ángulo recto (830).
5. El aparato de la reivindicación 3, en el que el contrapeso (810, 820) es en forma de un péndulo.
- 35 6. El aparato de una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la plataforma está montada en un mástil.
7. El aparato de la reivindicación 1, en el que al menos uno del primer prisma (20) y del segundo prisma (21) incluye una capa de refracción, que incluye una estructura de cristal fotónico para refractar el haz de RF, y al menos una capa de adaptación de impedancia (22) para adaptar en impedancia la capa de refracción.
- 40 8. Un método de manipulación de un haz de radiofrecuencia (RF) procedente una plataforma y para compensar la dirección errónea del haz de RF como resultado del balanceo de la plataforma, que comprende:
- 45 proporcionar un haz de RF transmitiendo el haz de RF desde una antena;  
refractar dicho haz de RF (7) produciendo un campo electromagnético mediante una primera estructura de cristal fotónico en un primer dispositivo de manipulación de haz;  
dirigir dicho haz de RF refractado desde dicho primer dispositivo de manipulación de haz a un ángulo deseado produciendo un campo electromagnético mediante una segunda estructura de cristal fotónico en un segundo dispositivo de manipulación de haz;
- 50 orientar dichos primer y segundo dispositivos de manipulación de haz uno con respecto al otro para dirigir dicho haz de RF a dicho ángulo deseado;  
detectar un movimiento combinado de dicha primera estructura de cristal fotónico en dicho primer dispositivo de manipulación de haz y dicha segunda estructura de cristal fotónico en dicho segundo dispositivo de manipulación de haz; y
- 55 compensar el movimiento combinado orientando adicionalmente dichos primer y segundo dispositivos de manipulación de haz uno con respecto al otro,  
en donde  
la primera y la segunda estructuras de cristales fotónicos comprenden orificios donde el diámetro de los orificios no supera un cuarto de una longitud de onda del haz de RF, mientras que el espaciado entre los orificios no supera la longitud de onda del haz de RF, y
- 60 el primer y el segundo dispositivos de manipulación comprenden cada uno una máscara de apodización fabricada de un material absorbente (42) para reducir lóbulos laterales,  
detectar el movimiento combinado comprende recibir señales desde un acelerómetro y compensar un efecto de temperatura en el acelerómetro.
- 65

9. El método de la reivindicación 8, en el que detectar el movimiento combinado comprende monitorizar un sensor de inclinación.

5 10. El método de la reivindicación 8, en el que compensar el movimiento combinado comprende accionar un motor asociado a al menos uno de dichos primer y segundo dispositivos de manipulación de haz.

11. El método de la reivindicación 8, en el que compensar el movimiento combinado comprende responder a un contrapeso asociado a al menos uno de dichos primer y segundo dispositivos de manipulación de haz.

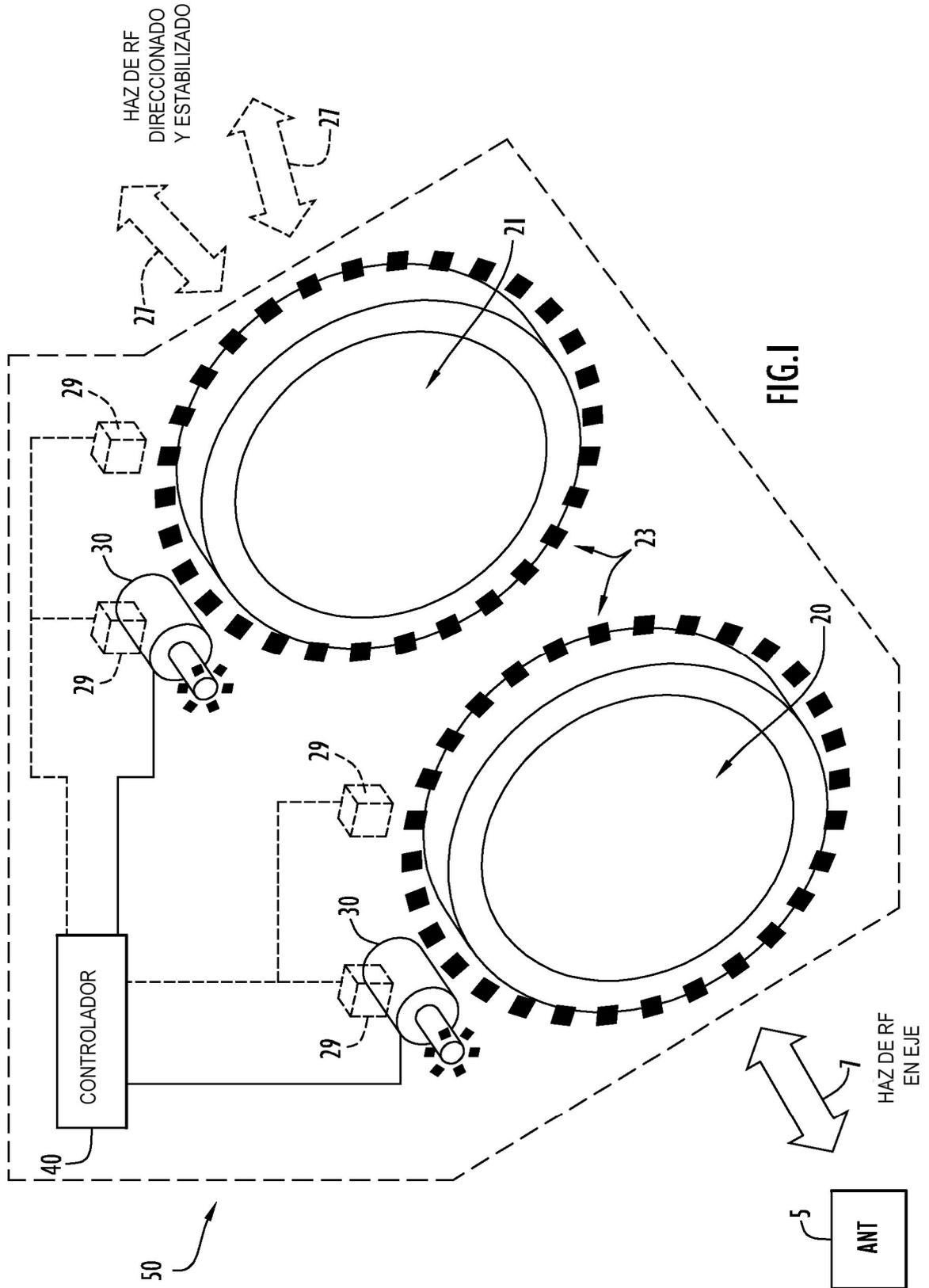


FIG. I

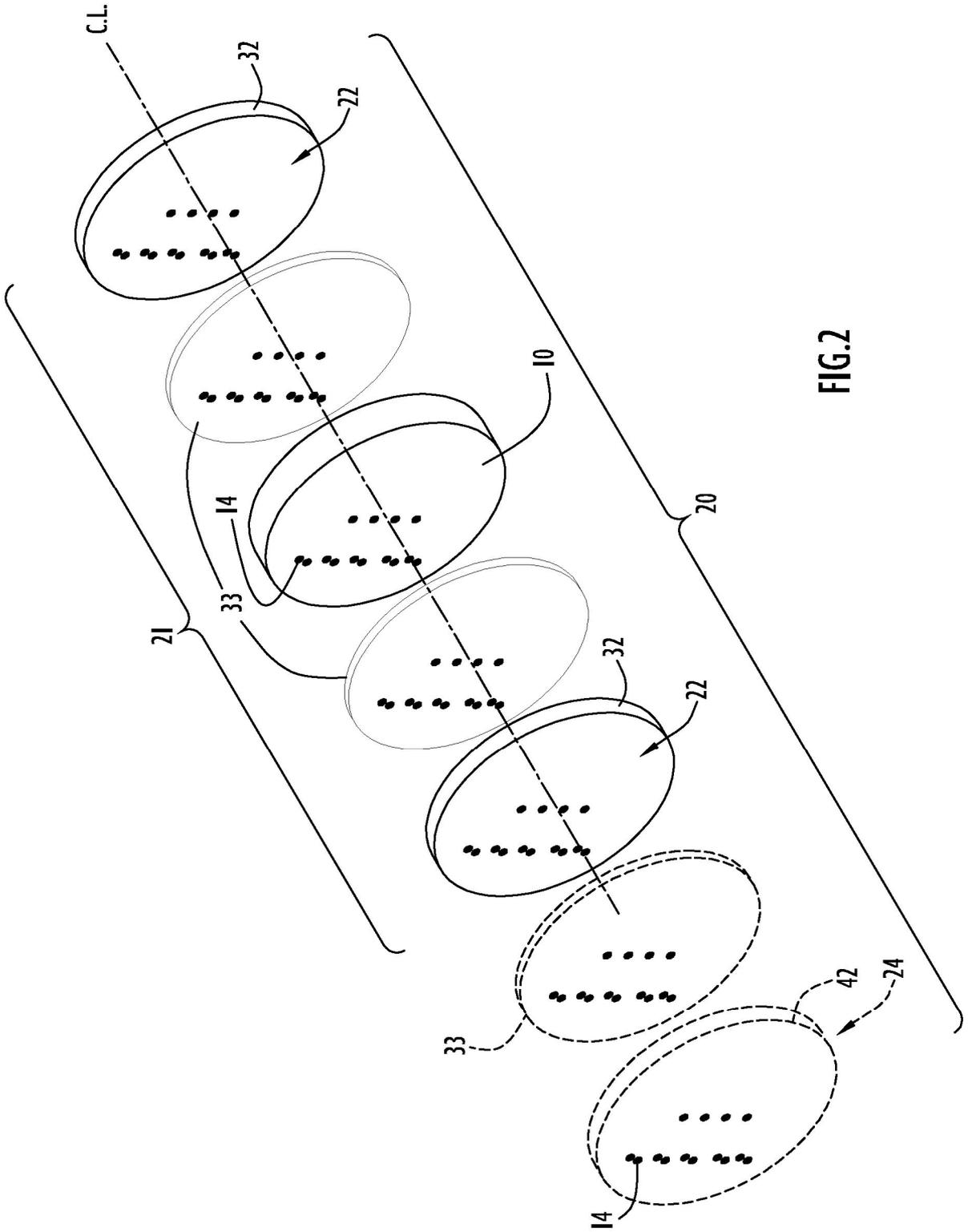


FIG. 2

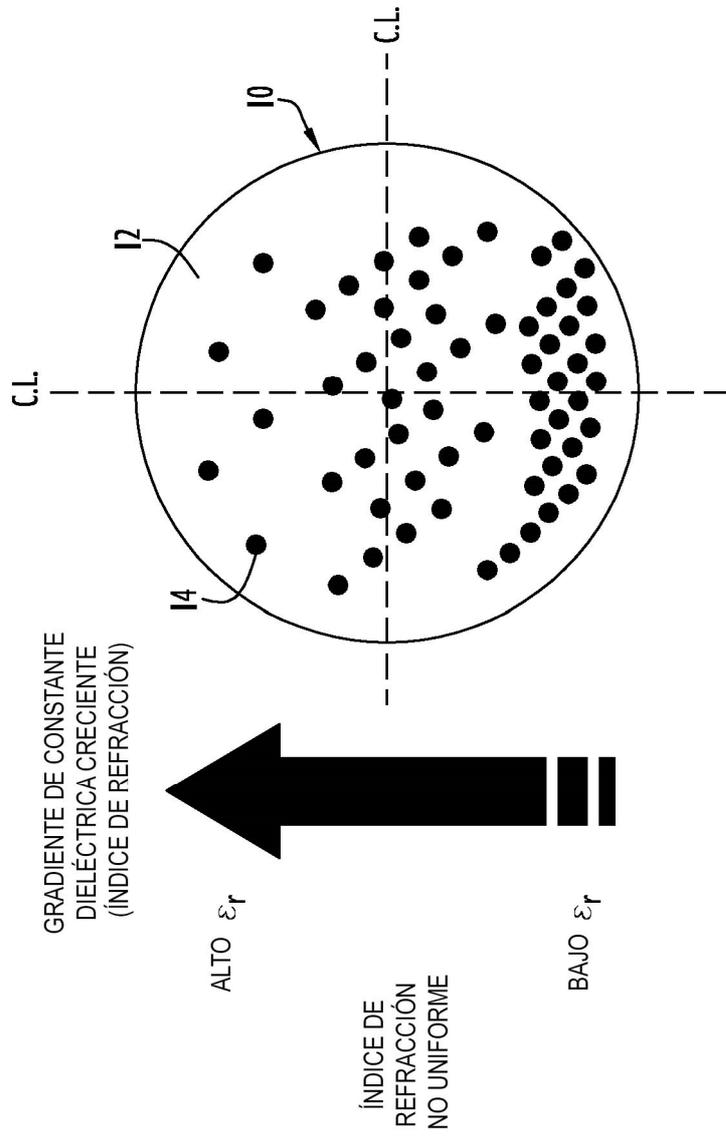
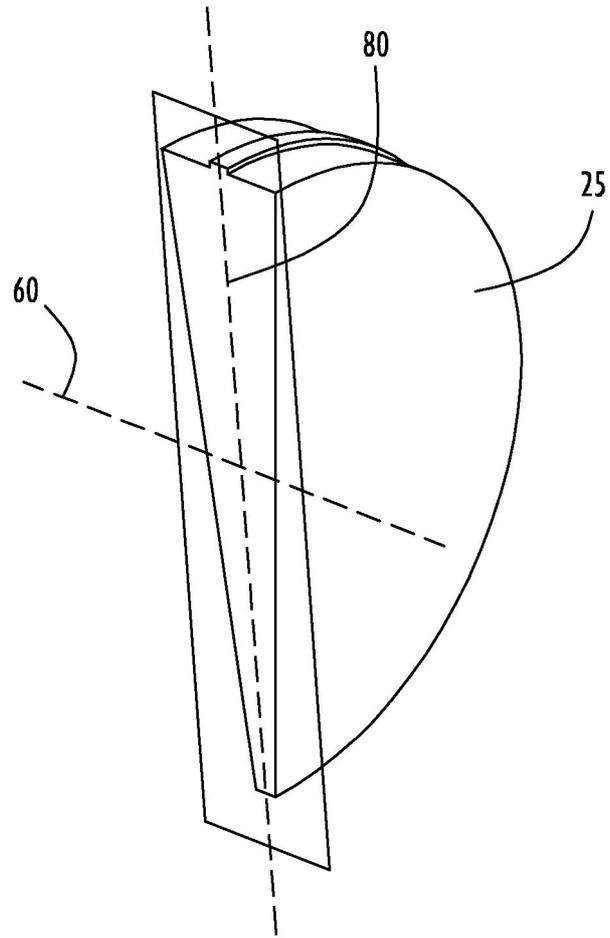


FIG.3



**FIG.4A**

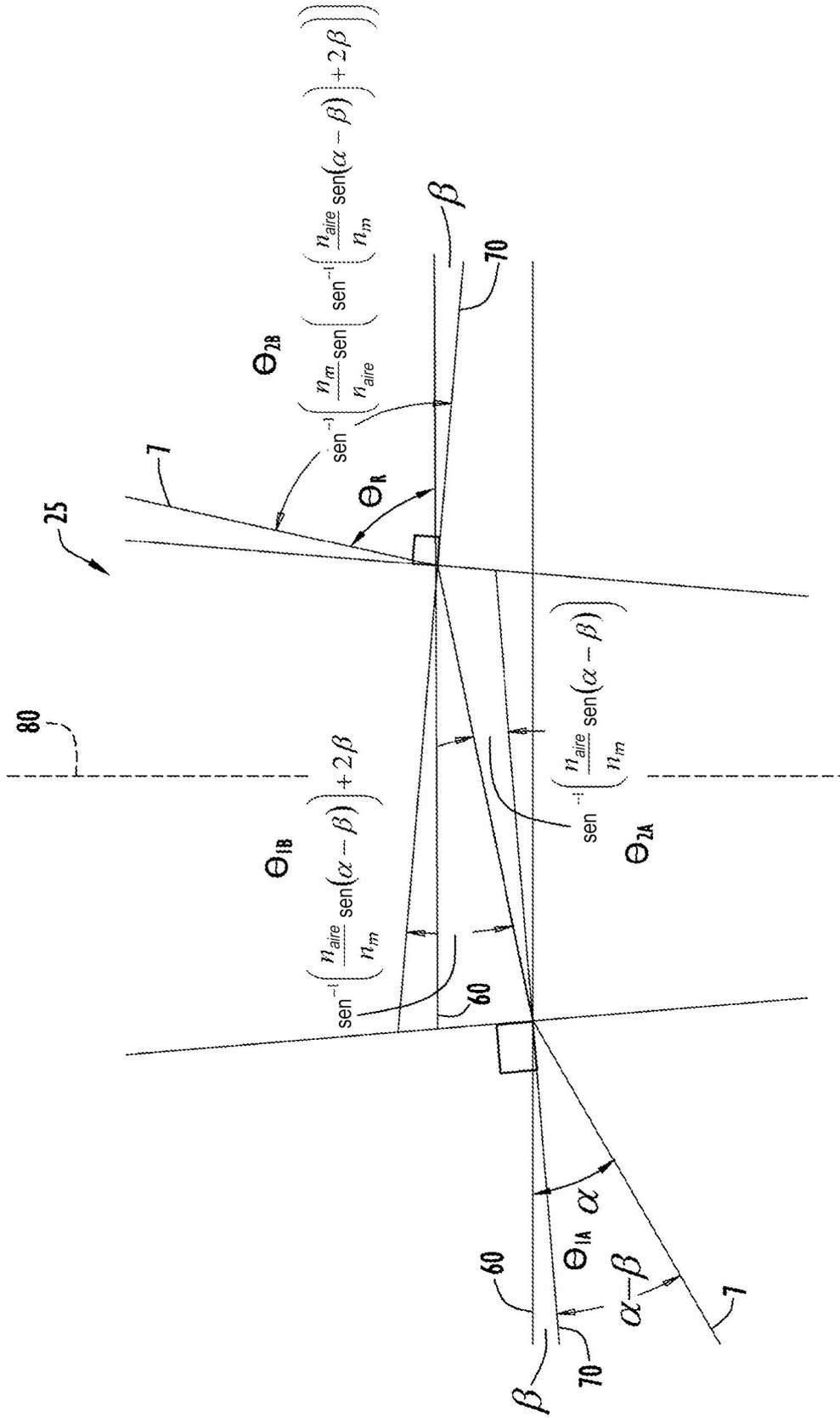


FIG.4B

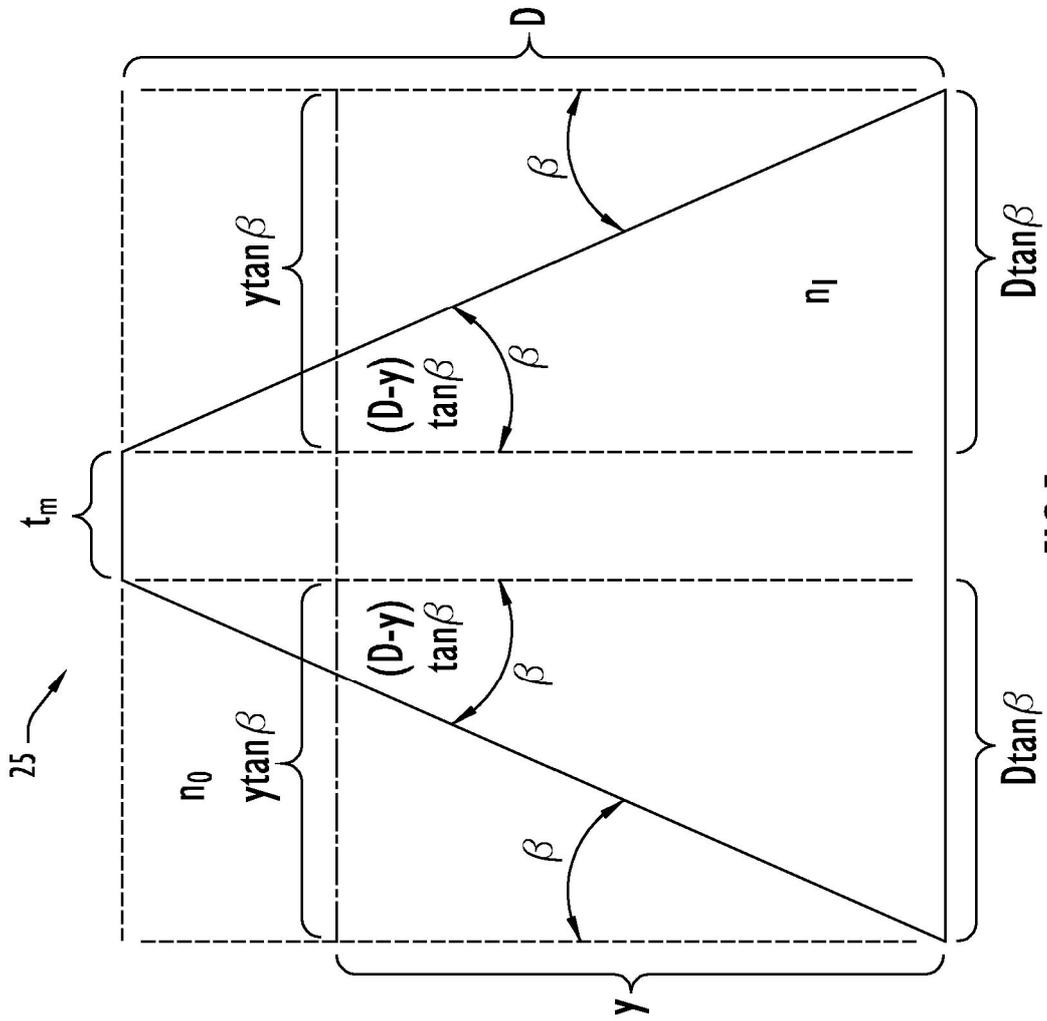


FIG.5

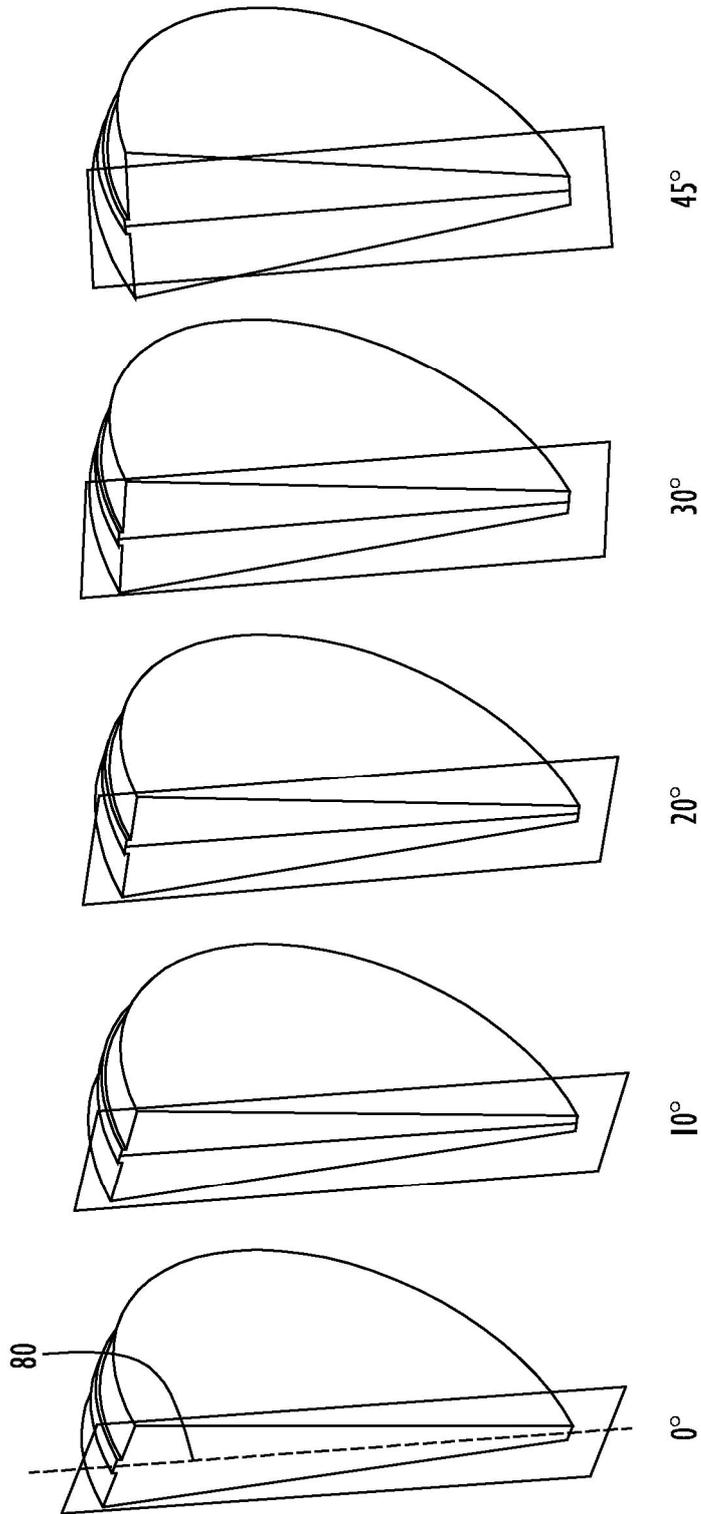


FIG.6

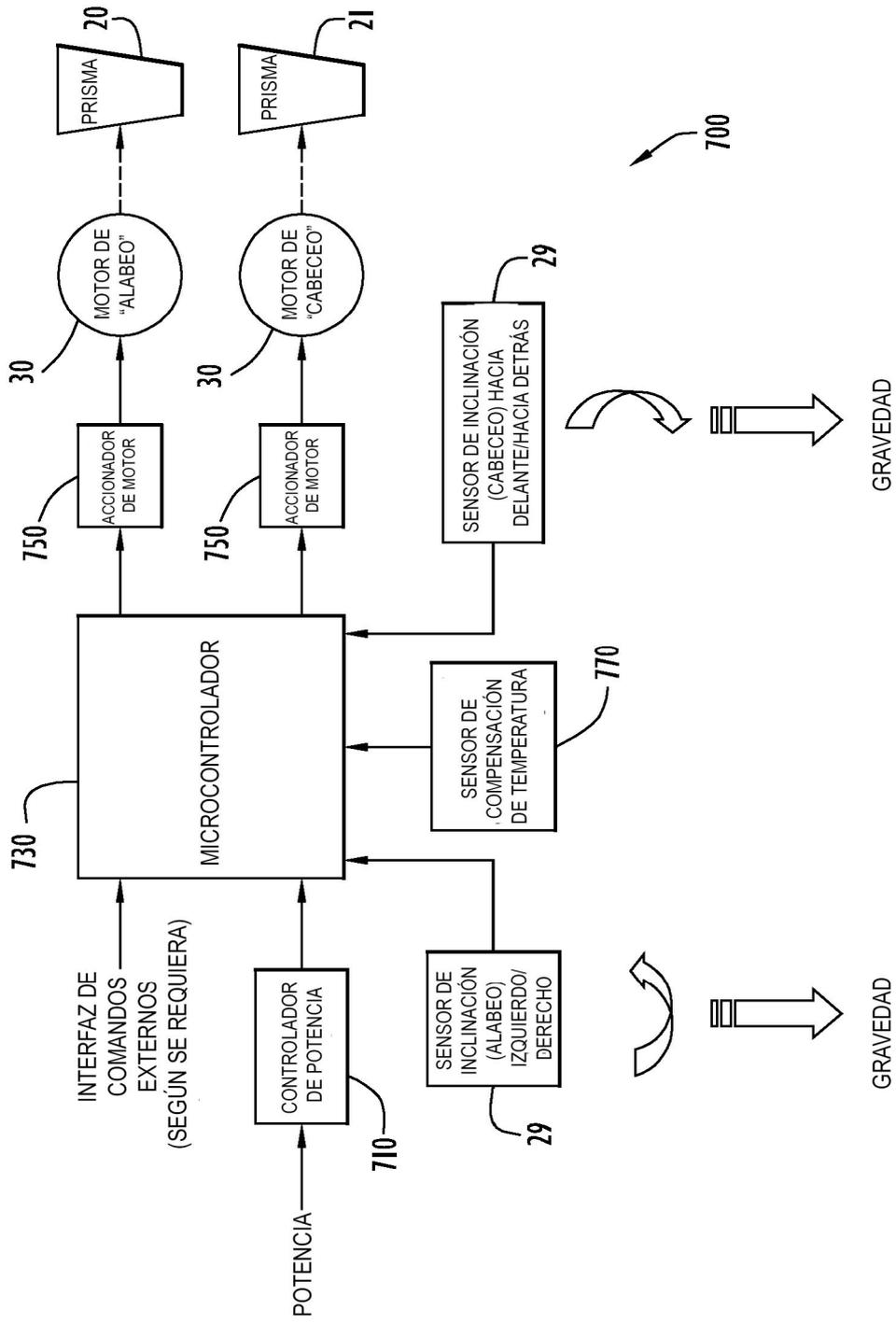


FIG.7

