(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 561 661**

(51) Int. Cl.:
H01Q 13/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.10.2010** **E 10843390 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.12.2015** **EP 2491615**

(54) Título: **Alimentación de lente de metamaterial para antenas de múltiples haces**

(30) Prioridad:

22.10.2009 US 254167 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.02.2016

(73) Titular/es:

LOCKHEED MARTIN CORPORATION (100.0%)
6801 Rockledge Drive
Bethesda, MD 20817-1877, US

(72) Inventor/es:

LIER, ERIK

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 561 661 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

Alimentación de lente de metamaterial para antenas de múltiples haces

Campo de la invención

La presente invención se refiere a sistemas de antena. En particular, la presente divulgación se refiere a sistemas de antena reflectora de múltiples haces para su uso en sistemas de comunicaciones por satélite.

Antecedentes de la invención

A lo largo de los últimos años, se ha producido un tremendo crecimiento en el uso de sistemas de antena de múltiples haces (MBA, *multiple beam antenna*) para comunicaciones por satélite. Por ejemplo, las MBA se están usando en la actualidad para satélites de radiodifusión directa (DBS, *direct-broadcast satellite*), satélites de comunicaciones personales (PCS, *personal communication satellite*), satélites de comunicaciones militares y aplicaciones de Internet de alta velocidad. Estas antenas proporcionan una cobertura, en su mayor parte contigua, a lo largo de un campo de visión especificado sobre la Tierra mediante el uso de haces de múltiples puntos de alta ganancia para la cobertura de enlace descendente (de satélite a tierra) y de enlace ascendente (de tierra a satélite).

Se conoce la provisión de sistemas de MBA que tienen múltiples reflectores, cada uno de los cuales soporta tanto la transmisión como la recepción de señales. Tales sistemas requieren una pluralidad de bocinas de alimentación para alimentar cada uno de los reflectores. Las bocinas de alimentación se diseñan para proporcionar una transmisión y una recepción de señales a lo largo de unas bandas de frecuencia de transmisión y de recepción respectivas ampliamente separadas.

Para cada reflector individual, la directividad y la eficiencia de la bocina de alimentación limitan la eficacia del sistema de antena. En particular, una bocina de alimentación inadecuadamente directiva da lugar a un desbordamiento de energía en el reflector que puede representar una pérdida de ganancia de hasta 3 dB, y también puede afectar al rendimiento del patrón en tierra.

Tal como se muestra en la figura 1, un conjunto contradictorio de requisitos rige el diseño de los sistemas reflectores de MBA 10 conocidos. Las bocinas de alimentación 12A, 12B, 12C, 12D alimentan unos haces de señal 14A, 14B, 14C, 14D respectivos al reflector 16. El tamaño de cada bocina de alimentación 12A, 12B, 12C, 12D limita la separación angular β entre cada uno de los haces de señal 14A, 14B, 14C, 14D respectivos. Una bocina más grande 12A, 12B, 12C, 12D que tiene una abertura de bocina más grande mejora la eficiencia del sistema reflector de MBA 10 para un tamaño de reflector dado mediante la disminución de la pérdida por desbordamiento y mediante el aumento de la potencia isotrópicamente irradiada equivalente, o EIRP (*Equivalent Isotropically Radiated Power*) para antenas de satélite de transmisión (una medición de la densidad de potencia en tierra), y aumenta la ganancia con la temperatura, o G / T para antenas de satélite de recepción. No obstante, la bocina más grande 12A, 12B, 12C, 12D que tiene una abertura de bocina aumentada también aumenta el ángulo β entre los haces de señal 14A, 14B, 14C, 14D respectivos, dando como resultado unos haces de punto ampliamente separados 18A, 18B, 18C, 18D que producen una cobertura a lo largo de una pequeña porción del área de cobertura global. La cobertura de cualesquiera espacios entre los haces ampliamente separados 18A, 18B, 18C, 18D requiere el uso de unos reflectores 16 adicionales para conseguir un trazado de haces intercalados en tierra, aumentando el coste, la complejidad y los requisitos de cabida útil del sistema.

Por lo general, la potenciación de ganancia procedente de antenas reflectoras de múltiples haces se puede conseguir mediante el aumento de la ganancia de la bocina, la conformación de los reflectores, la creación de una disposición ordenada secundaria superpuesta usando una pluralidad de bocinas que se combinan por medio de una red de formación de haz compleja, o el aumento del número de antenas reflectoras, en ocasiones tanto como cuatro veces el número de reflectores.

Se están comenzando a usar lentes de potenciación de ganancia para potenciar la ganancia de la bocina de alimentación mediante la mejora de la abertura de bocina de alimentación eficaz. Por ejemplo, las lentes de Luneberg que tienen unos índices de refracción graduados usando un dieléctrico ordinario son bien conocidas, pero por lo general son grandes y pesadas y tienen un coste elevado y, por lo tanto, son poco prácticas para aplicaciones espaciales. Adicionalmente, una lente de potenciación de ganancia elemental se ha mostrado basándose en una lente de banda prohibida electromagnética (EBG, *electromagnetic band gap*) delgada. Se sabe que la lente de EBG reducen la polarización cruzada y aumenta la ganancia de un sistema de alimentación de disposición ordenada de antenas de bocina de abertura pequeña para producir un sistema de haces superpuestos. No obstante, la lente de EBG se ha mostrado solo a lo largo de una anchura de banda muy estrecha (1 % - 2 %). Las bandas de transmisión y de recepción simultáneas ampliamente separadas, tal como las bandas de 12 / 17 GHz o de 20 / 30 GHz, no son soportadas por la lente de EBG. Recientemente, para las MBA de transmisión se ha propuesto un diseño de lente activa que tiene amplificadores en el interior de la lente. El concepto del diseño de lente activa acepta una pérdida por desbordamiento de lente de alimentación elevada debido a que esto tiene lugar en el lado de baja potencia de

los amplificadores de alta potencia. No obstante, el concepto del diseño de lente activa se encuentra en una fase preliminar y, en cualquier caso, solo es aplicable a las MBA de transmisión.

Por lo tanto, existe una necesidad de una antena de múltiples haces y de múltiples bandas con unas bocinas de alimentación de antena muy poco separadas con una abertura de bocina de alimentación eficaz aumentada y una pérdida por desbordamiento reducida que también sea capaz de un funcionamiento simultáneo a lo largo de unas bandas de transmisión y de recepción ampliamente separadas.

Sumario de la invención

Una antena reflectora de múltiples haces de acuerdo con la invención se define en la reivindicación 1. Concordante y consistente con la presente invención, se ha descubierto de forma sorprendente una antena reflectora de múltiples haces que proporciona una abertura de bocina de alimentación eficaz aumentada y una pérdida por desbordamiento reducida capaz de un funcionamiento simultáneo a lo largo de unas bandas de transmisión y de recepción ampliamente separadas. La antena reflectora de múltiples haces incluye al menos un reflector, una pluralidad de bocinas de alimentación para alimentar el al menos un reflector, y una lente de metamaterial interpuesta entre la pluralidad de bocinas de alimentación y el al menos un reflector. La lente de metamaterial proporciona una distribución de elementos superpuestos a partir de al menos dos bocinas de alimentación de la pluralidad de bocinas de alimentación. En una realización, la lente de metamaterial tiene un índice de refracción entre aproximadamente cero y aproximadamente uno. En otra realización, la lente de metamaterial comprende uno o más de materiales de índice bajo (LIM, *low index material*), materiales de índice cero (ZIM, *zero index material*) y materiales de índice graduado (GRIN, *graded index*) que pueden tener un índice de refracción inferior a uno o superior a uno.

En otra realización, una superficie inferior de la lente de metamaterial es adyacente a las aberturas de bocina de alimentación de al menos dos bocinas de alimentación adyacentes. La superficie inferior de la lente de metamaterial incluye una muesca que está dispuesta entre las al menos dos bocinas de alimentación adyacentes para proporcionar una separación entre las aberturas de bocina de alimentación de las al menos dos bocinas de alimentación adyacentes para reducir el acoplamiento mutuo de las señales de alimentación a partir de las mismas.

En otra realización, una antena reflectora de múltiples haces incluye al menos un reflector y una pluralidad de bocinas de alimentación para alimentar el al menos un reflector. Cada bocina de alimentación en la pluralidad de bocinas de alimentación incluye una sección de garganta que termina en una sección sustancialmente cónica, la sección sustancialmente cónica ensanchándose hacia fuera a partir de la sección de garganta y terminando en una abertura de bocina de alimentación. Una lente de metamaterial está interpuesta entre al menos una abertura de bocina de alimentación de la pluralidad de bocinas de alimentación y el al menos un reflector. La lente de metamaterial puede proporcionar una distribución de elementos superpuestos a partir de al menos dos bocinas de alimentación de la pluralidad de bocinas de alimentación.

Breve descripción de los dibujos

Las ventajas anteriores, así como otras ventajas de la presente divulgación, serán inmediatamente evidentes a los expertos en la materia a partir de la siguiente descripción detallada de la realización preferida cuando se considere a la luz de los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista esquemática de un sistema de alimentación de MBA de la técnica anterior capaz de una cobertura de puntos en tierra limitada;
la figura 2 es una vista esquemática de un sistema reflector de MBA que muestra una pérdida por desbordamiento de acuerdo con una realización de la presente divulgación;
la figura 3A es una vista esquemática de un sistema de alimentación de MBA que incluye una lente de metamaterial que está formada de acuerdo con una realización de la presente divulgación;
la figura 3B es una representación gráfica de diversas formas de onda que son producidas por la lente de metamaterial de la figura 3A;
la figura 4A es una vista esquemática de un sistema de alimentación de MBA que incluye una lente de metamaterial que está formada de acuerdo con otra realización de la presente divulgación;
la figura 4B es una representación gráfica de diversas formas de onda que son producidas por la lente de metamaterial de la figura 4A; y
la figura 5 es una vista esquemática de un sistema reflector de MBA de acuerdo con la presente divulgación que muestra una cobertura de puntos en tierra intercalados.

Descripción detallada de realizaciones a modo de ejemplo de la invención

La siguiente descripción detallada y el dibujo adjunto describen e ilustran diversas realizaciones de la invención. La descripción y los dibujos sirven para posibilitar que un experto en la materia fabrique y use la invención, y no tienen por objeto limitar el alcance de la invención en modo alguno.

Un sistema reflector de antena de múltiples haces (MBA) 110 construido de acuerdo con la presente invención se muestra en la figura 2. Una red de alimentación de señal 112 incluye una pluralidad de bocinas de alimentación 114 que terminan, cada una, en una abertura de bocina de alimentación 116. Se entiende que cada bocina de alimentación 114 se puede optimizar de forma individual para la frecuencia y la potencia tal como es conocido en la técnica, y se puede configurar para la transmisión o para la recepción de señales dentro de una banda de frecuencia deseada, o para ambas. Se entiende adicionalmente que las bocinas de alimentación 114 pueden generar unas formas de onda diferentes o idénticas, según se desee. Cada abertura de bocina de alimentación 116 se apoya contra una superficie inferior 118 de una lente de metamaterial 120, realizaciones de la cual se describen adicionalmente en lo sucesivo en el presente documento.

En un modo de transmisión, por ejemplo, la señal de salida de las bocinas de alimentación 114 pasa a través de la lente de metamaterial 120 y es incidente sobre una superficie reflectante 122 de un reflector 124. La superficie reflectante 122 puede tener cualquier forma deseada, tal como por ejemplo parabólica o elíptica, u otros atributos de diseño, tal como un diámetro de reflector, una longitud focal, o similar, y funciona para reflejar la señal de salida de las bocinas de alimentación 114 hacia un área de recepción deseada (que no se muestra). Una porción de la señal de salida 126 de las bocinas de alimentación 114 no acierta en absoluto al reflector 124 y se considera una pérdida por desbordamiento. De acuerdo con la presente divulgación, la lente de metamaterial 120 se diseña para reducir al mínimo la porción de pérdida por desbordamiento de la señal de salida 126 al tiempo que se aumenta al máximo la porción de la señal de salida 126 de las bocinas de alimentación 114 que es incidente sobre la superficie reflectante 122.

Una realización de un sistema de alimentación 300 se muestra en la figura 3A. El sistema de alimentación 300 incluye una red de alimentación 310 que forma y alimenta señales a una pluralidad de bocinas de alimentación 312. La pluralidad de bocinas de alimentación 312 pueden ser idénticas, o la pluralidad de bocinas de alimentación 312 se pueden optimizar de forma individual, según se desee, y pueden tener cualquier configuración conocida. Por ejemplo, cada una de las bocinas de alimentación 312 que se muestran en la figura 3A comprende una sección de garganta 314 que termina en una sección sustancialmente cónica 316 que se ensancha hacia fuera a partir de la sección de garganta 314. La sección sustancialmente cónica 316 tiene una superficie interior 318 que puede incluir una pendiente variable. Cada sección sustancialmente cónica 316 termina en una abertura de bocina 320.

De acuerdo con la presente divulgación, una lente de metamaterial 322 está interpuesta entre las bocinas de alimentación 312 y una superficie reflectora (que no se muestra). En una realización, la abertura de bocina de alimentación 320 está colocada adyacente a una superficie inferior sustancialmente plana 324 de la lente de metamaterial sustancialmente plana 322 para permitir que la señal de salida que es emitida por la bocina de alimentación 312 sea enfocada por la lente de metamaterial 322 mediante la creación de un frente de fase uniforme sobre la abertura de la lente a lo largo de una superficie superior sustancialmente plana 328 de la lente de metamaterial 322. A medida que la señal de salida pasa a través de la lente de metamaterial 322, la señal de salida es ajustada ópticamente por la lente de metamaterial 322 para volverse una señal de salida de haz estrecho altamente colimada. El ajuste óptico de la señal de salida por la lente de metamaterial 322 aumenta la abertura eficaz de cada una de las bocinas de alimentación 312, aumentando de ese modo la ganancia de la bocina de alimentación.

La lente de metamaterial 322 se puede formar usando unos métodos conocidos de diseño de lentes ópticas de transformación usando unos materiales conocidos por mostrar un bajo índice de refracción *n*, que se define como:

$$n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r} \qquad \text{Ecuación 1}$$

en la que ε_r es la permitividad relativa y μ_r es la permeabilidad relativa. En los diseños de lente de materiales de índice bajo (LIM), el índice de refracción *n* del material se encuentra en el intervalo de cero a uno ($0 < n < 1$). En una realización, el índice de refracción *n* del material que se usa formar la lente de metamaterial se puede diseñar en tres dimensiones para tener un índice de refracción variable o graduado a lo largo de la totalidad del volumen de la lente de metamaterial 322. La lente de índice graduado (GRIN) se puede usar para optimizar la salida de cada bocina de alimentación 312 individual para producir un haz de salida altamente colimado a partir de cada bocina para la incidencia sobre la superficie reflectora (que no se muestra). En particular, el diseño de lentes ópticas de transformación es capaz de esparcir o abrir en abanico la energía electromagnética que es recibida por la superficie inferior sustancialmente plana 324 de la lente de metamaterial 322 a través del espesor T1 de la lente de metamaterial 322, de modo que la energía electromagnética en la superficie superior sustancialmente plana 328 de la lente de metamaterial se esparce a lo largo de un área más grande que la abertura de bocina a partir de la cual se origina esta e incluye una distribución de fase sustancialmente uniforme. La lente de metamaterial 322 puede esparcir la energía electromagnética lo bastante para conseguir un haz superpuesto a partir de las bocinas de alimentación 312 adyacentes, en donde los haces superpuestos muestran una abertura de bocina de alimentación eficaz mayor que la envuelta física de las aberturas de bocina de alimentación 320 reales. También se puede utilizar una óptica de transformación para crear un diseño tridimensional de la lente de metamaterial 322 que puede incluir una combinación de uno o más de materiales de índice cero (ZIM), materiales de índice bajo (LIM) y materiales de índice graduado (GRIN) que podrían tener un índice de refracción inferior a uno o superior a uno. Se han logrado

unos resultados favorables en donde un espesor T1 de la lente de metamaterial 322 es menor que una longitud de onda de la frecuencia de la señal de salida, y en particular, en donde el espesor T1 de la lente de metamaterial menor que aproximadamente la mitad de una longitud de onda de la frecuencia de la señal de salida. Por lo tanto, la optimización de la lente de GRIN puede requerir adicionalmente un espesor T1 variable dependiendo de la frecuencia de la señal de salida de cualquier bocina de alimentación 312.

Tal como se muestra en la figura 3B, la lente de metamaterial 322 de la figura 3A se puede optimizar para producir unas mejoras variables en la ganancia de la bocina de alimentación. Por ejemplo, una primera distribución de aberturas 330 muestra una distribución de aberturas de bocina realista que se puede conseguir de forma razonable en ausencia de la lente de metamaterial 322. A pesar de que la primera distribución de aberturas 330 puede incluir una señal que tiene una fase uniforme, la amplitud o la potencia de la primera distribución de aberturas varía a lo largo de la anchura de la abertura de bocina de alimentación. La lente de metamaterial 322 se puede optimizar para aumentar la amplitud de la señal de fase uniforme para conseguir el perfil de señal de amplitud uniforme de la segunda distribución de aberturas 332. La segunda distribución de aberturas 332 muestra una ganancia aumentada de la bocina de alimentación a lo largo de la primera distribución de aberturas 330 debido a una señal de amplitud uniforme que da como resultado una salida de alimentación más directiva. No obstante, la lente de LIM o de GRIN también se puede utilizar para expandir de forma eficaz la abertura de bocina de alimentación más allá de la envuelta física de la bocina de alimentación 312 para ensanchar la distribución de aberturas tal como se muestra en la tercera distribución de aberturas 334. Si se implementa de forma apropiada, la tercera distribución de aberturas 334 produce unas señales de salida altamente directivas y superpuestas a partir de unas aberturas de bocina de alimentación adyacentes, y aumenta la ganancia eficaz de la bocina de alimentación. La naturaleza altamente direccional y colimada de la tercera distribución de aberturas 334 también reduce la pérdida por desbordamiento a partir de las bocinas de alimentación y aumenta al máximo una potencia isotrópicamente irradiada equivalente (EIRP). La capacidad de aumentar la abertura de bocina de alimentación eficaz más allá de la envuelta física de la bocina de alimentación 312 permite la utilización de unas bocinas de alimentación más pequeñas para conseguir unas distribuciones de aberturas favorables, tal como se analiza en lo sucesivo en el presente documento con referencia a la figura 5.

La lente de metamaterial 322 se optimiza adicionalmente para conseguir una adaptación de impedancia de onda en la superficie de contacto entre el aire y una superficie de la lente de metamaterial. En particular, la optimización de la lente de metamaterial 322 puede conseguir una adaptación de impedancia en la superficie de contacto entre la superficie inferior sustancialmente plana 324 de la lente de metamaterial 322 y la abertura de bocina de alimentación 320, y en la superficie de contacto entre la superficie superior sustancialmente plana 328 de la lente de metamaterial 322 y el aire. La impedancia de onda Z en cualquier punto de la lente de metamaterial se define como:

$$1/Z = \sqrt{\varepsilon / \mu} \qquad \text{Ecuación 2}$$

en la que ε es la permitividad eléctrica y μ es la permeabilidad magnética del material a través del cual se está desplazando la onda. En una realización, la superficie inferior sustancialmente plana 324 y la superficie superior sustancialmente plana 328 de la lente de metamaterial 322 se diseñan de modo que ε y μ son sustancialmente iguales, de modo que la impedancia de onda en la superficie inferior sustancialmente plana 324 y en la superficie superior sustancialmente plana 328 de la lente de metamaterial 322 es sustancialmente igual a la impedancia de onda del espacio libre.

Otra realización de un sistema de alimentación 400 de acuerdo con la presente divulgación se muestra en la figura 4A. El sistema de alimentación 400 incluye una red de alimentación 410 que forma y alimenta señales a una pluralidad de bocinas de alimentación 412. La pluralidad de bocinas de alimentación 412 pueden ser idénticas, o la pluralidad de bocinas de alimentación 412 se pueden optimizar de forma individual, según se desee, y pueden tener cualquier configuración conocida. Por ejemplo, cada una de las bocinas de alimentación 412 que se muestran en la figura 4A incluye una sección de garganta 414 que termina en una sección sustancialmente cónica 416 que se ensancha hacia fuera a partir de la sección de garganta 414. La sección sustancialmente cónica 416 tiene una superficie interior 418 que puede incluir una pendiente variable. Cada sección sustancialmente cónica 416 termina en una abertura de bocina 420.

De acuerdo con la realización, una lente de metamaterial 422 está interpuesta entre las bocinas de alimentación 412 y una superficie reflectora (que no se muestra). En una realización, la abertura de bocina de alimentación 420 está colocada adyacente a una superficie inferior 424 de la lente de metamaterial 422 para permitir que la señal de salida que es emitida por la bocina de alimentación 412 sea enfocada por la lente de metamaterial 422. Una señal de salida que emana de cada abertura de bocina de alimentación 420 está acoplada con la lente de metamaterial 420 a través de una porción de superficie inferior sustancialmente plana 426 de la superficie inferior 424 de la lente de metamaterial 422. Cada porción de superficie inferior sustancialmente plana 426 de la lente de metamaterial 422 está separada de las otras porciones de superficie inferior sustancialmente planas 426 por una muesca 428 que está dispuesta entre las mismas.

A medida que la señal de salida pasa a través de la lente de metamaterial 422, la señal de salida es ajustada ópticamente por la lente de metamaterial 422 para volverse una señal de salida de haz estrecho altamente colimada. El ajuste óptico de la señal de salida por la lente de metamaterial 422 aumenta la abertura eficaz de cada una de las bocinas de alimentación 412, aumentando de ese modo la ganancia de la bocina de alimentación. La muesca 428 proporciona una separación entre cada abertura de bocina de alimentación 420 adyacente para reducir el acoplamiento mutuo de las señales de alimentación a partir de las bocinas de alimentación 412 adyacentes.

La lente de metamaterial 422 se puede formar usando unos métodos conocidos de diseño de lentes ópticas de transformación usando unos materiales conocidos por mostrar un bajo índice de refracción *n* que se ha definido en lo que antecede en el presente documento en la ecuación 1. En los diseños de lente de materiales de índice bajo (LIM), el índice de refracción *n* del material se encuentra en el intervalo de cero a uno ($0 < n < 1$). En una realización, el índice de refracción *n* del material que se usa formar la lente de metamaterial se puede diseñar en tres dimensiones para tener un índice de refracción variable o graduado a lo largo de la totalidad del volumen de la lente de metamaterial 422. La lente de índice graduado (GRIN) se puede usar para optimizar la salida de cada bocina de alimentación 412 individual para producir un haz de salida altamente directivo y colimado a partir de cada bocina para la incidencia sobre la superficie reflectora (que no se muestra). En particular, el diseño de lentes ópticas de transformación es capaz de esparcir o abrir en abanico la energía electromagnética que es recibida por la porción de superficie inferior sustancialmente plana 426 de la superficie inferior 424 de la lente de metamaterial 422 a través del espesor T2 de la lente de metamaterial 422, de modo que la energía electromagnética en la superficie superior sustancialmente plana de la lente de metamaterial incluye una distribución de fase sustancialmente uniforme. La lente de metamaterial 422 puede esparcir la energía electromagnética lo bastante para conseguir un haz superpuesto a partir de las bocinas de alimentación 412 adyacentes, en donde los haces superpuestos muestran una abertura de bocina de alimentación eficaz mayor que la envuelta física de las aberturas de bocina de alimentación 420 reales. También se puede utilizar una óptica de transformación para crear un diseño tridimensional de la lente de metamaterial 422 que puede incluir una combinación de uno o más de materiales de índice cero (ZIM), materiales de índice bajo (LIM) y materiales de índice graduado (GRIN) que podrían tener un índice de refracción inferior a uno o superior a uno. Un diseño tridimensional de la lente de metamaterial 422 puede incluir una combinación de uno o más de materiales de índice cero (ZIM), materiales de índice bajo (LIM) y materiales de índice graduado (GRIN). Se han conseguido unos resultados favorables en donde un espesor T2 de la lente de metamaterial 422 es menor que una longitud de onda de la frecuencia de la señal de salida, y en particular, en donde el espesor T2 de la lente de metamaterial es menor que aproximadamente la mitad de una longitud de onda de la frecuencia de la señal de salida. Por lo tanto, la optimización de la lente de GRIN puede requerir adicionalmente un espesor T2 variable dependiendo de la frecuencia de la señal de salida de cualquier bocina de alimentación 412.

La lente de metamaterial 422 se puede optimizar adicionalmente en tres dimensiones para conseguir una adaptación de impedancia de onda en la superficie de contacto entre el aire y una superficie de la lente de metamaterial. En particular, la optimización de la lente de metamaterial 422 puede conseguir una adaptación de impedancia de onda en la superficie de contacto entre la porción de superficie inferior sustancialmente plana 426 de la superficie inferior 424 de la lente de metamaterial 422 y la abertura de bocina de alimentación 420, y en la superficie de contacto entre la superficie superior sustancialmente plana 428 de la lente de metamaterial 422 y el aire. La impedancia de onda se define con referencia a la ecuación 2 en lo que antecede en el presente documento. En una realización, la porción de superficie inferior sustancialmente plana 426 de la superficie inferior 424 y la superficie superior 428 de la lente de metamaterial 422 se diseñan de modo que ε y μ son sustancialmente iguales, de modo que la impedancia de onda en la porción de superficie inferior sustancialmente plana 426 de la superficie inferior 424 y en la superficie superior sustancialmente plana 428 de la lente de metamaterial 422 es sustancialmente igual a la impedancia de onda del espacio libre.

Tal como se muestra en la figura 4B, la lente de metamaterial 422 de la figura 4A se puede optimizar para producir unas mejoras significativas en la ganancia de la bocina de alimentación. En particular, la lente de metamaterial 422 de la figura 4A se optimiza para aumentar la abertura de bocina de alimentación eficaz más allá de la envuelta física de la bocina de alimentación 412 al tiempo que también se mejoran las características tanto de amplitud como de fase de la señal. Las gráficas inferiores de distribuciones de aberturas de la figura 4B muestran una optimización de la abertura de bocina de alimentación eficaz para la amplitud de señal, mientras que las gráficas superiores de distribuciones de aberturas de la figura 4B muestran una optimización de la abertura de bocina de alimentación eficaz para la fase de señal. La distribución de aberturas más a la izquierda 430A optimizada para la amplitud de señal en la figura 4B muestra que la lente de metamaterial 422 se puede optimizar para una amplitud sustancialmente uniforme. La señal de alimentación también puede ser ajustada ópticamente por la lente de metamaterial 422 para tener una fase sustancialmente uniforme, tal como se muestra en la distribución de aberturas más a la izquierda 430B optimizada para la fase en la figura 4B. En combinación, la señal de amplitud sustancialmente uniforme optimizada 430A y las señales de fase sustancialmente uniforme optimizadas 430B proporcionan una ganancia aumentada de la bocina de alimentación, y la naturaleza direccional y colimada de las señales 430A, 430B reducen la pérdida por desbordamiento del sistema de antena.

La lente de metamaterial 422 se puede ajustar para mejorar la ganancia de potencia y la directividad de las señales de alimentación, tal como es mostrado por las distribuciones de aberturas 432A y 432B de la figura 4B. La

distribución de aberturas 432A presenta una amplitud no uniforme o ahusada, que está aumentada al máximo en el centro de la distribución 432A, mientras que la fase de señal permanece uniforme, tal como se muestra mediante la distribución de aberturas 432B. Debido a que la distribución de amplitud es ahusada, el patrón de radiación a partir de esa abertura tiene unos lóbulos laterales más bajos en comparación con la distribución de aberturas uniforme 430A, reduciendo al mínimo de ese modo la pérdida por desbordamiento en el reflector. Por lo tanto, la lente de metamaterial 422 se puede diseñar e implementar para proporcionar una señal de alimentación plenamente optimizada.

Adicionalmente, debido al diseño de la lente de metamaterial 422, las señales de alimentación de salida a partir de las bocinas de alimentación 412 adyacentes se pueden superponer, dando como resultado una distribución de elementos superpuestos de señales de alimentación, proporcionando la capacidad de aumentar el número de señales de alimentación por reflector. Tal como se ha hecho notar en lo que antecede en el presente documento, la lente de metamaterial 422 potencia ópticamente la señal de salida a partir de la abertura de bocina de alimentación 420 de modo que la abertura de bocina de alimentación eficaz es más grande que la envuelta física de la bocina de alimentación 412. Por lo tanto, el tamaño de cada bocina de alimentación 412 se puede reducir al tiempo que se sigue consiguiendo una ganancia de señal elevada con una pérdida por desbordamiento aceptable, y obteniendo adicionalmente una cobertura de señal superpuesta. La reducción del tamaño de cada bocina de alimentación 412 es adicionalmente ventajosa, tal como se muestra en la figura 5. Mediante la reducción del tamaño de cada bocina de alimentación 412, se puede dar cabida a un número más grande de las bocinas de alimentación 412 en el espacio ocupado por las bocinas de alimentación 12A, 12B, 12C, 12D de la figura 1, dando como resultado un número más grande de haces de señal superpuestos 440 separados un ángulo α que es más pequeño que el ángulo β para sistemas de antena reflectora de múltiples haces que tienen los mismos diámetro de reflector y longitud focal, ganancia de antena y tamaño de haz. Más haces de señal superpuestos 440 a partir del mismo espacio dan como resultado adicionalmente más haces de señal 440, y superpuestos, incidentes sobre el reflector 444, y más haces de punto 442, y superpuestos, en tierra, proporcionando más cobertura de señal. Se han conseguido unos resultados favorables cuando las bocinas de alimentación 412 son de un tamaño que es la mitad del tamaño de las bocinas de alimentación 12 o más pequeño, dando como resultado un ángulo a que es la mitad del ángulo β o más pequeño, y dando como resultado que el número de haces de punto 442 es al menos dos veces el de los haces de punto 18 a partir del mismo tamaño de paquete en una disposición ordenada unidimensional, y dando como resultado que el número de haces de punto 442 es al menos cuatro veces el de los haces de punto 18 a partir del mismo tamaño de paquete en una disposición ordenada bidimensional. Por lo tanto, una antena reflectora de múltiples haces que utiliza la lente de metamaterial de la presente divulgación reduce al mínimo el número de antenas reflectoras que se requieren para la cobertura terrestre, lo que da como resultado adicionalmente unas reducciones significativas en la masa, el coste y la complejidad de los sistemas de antena reflectora.

A pesar de que se han mostrado determinados detalles y realizaciones representativas con el fin de ilustrar la invención, será evidente a los expertos en la materia que se pueden hacer diversos cambios sin apartarse del alcance de la divulgación, el cual se describe adicionalmente en las siguientes reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una antena reflectora de múltiples haces (110), que comprende:

al menos un reflector (124; 444),
una pluralidad de bocinas de alimentación (114; 312; 412) que alimentan el al menos un reflector (124; 444), terminando cada bocina de alimentación (114; 312; 412) en la pluralidad de bocinas de alimentación (114; 312; 412) en una abertura de bocina de alimentación (116; 320; 420); y
una lente de metamaterial (120; 322; 422) interpuesta entre al menos una abertura de bocina de alimentación (116; 320; 420) de la pluralidad de bocinas de alimentación (114; 312; 412) y el al menos un reflector (124; 444),
caracterizada por que un valor de permitividad eléctrica ε es sustancialmente igual a un valor de permeabilidad magnética μ en una de una superficie inferior sustancialmente plana (118; 324; 426) de la lente de metamaterial (120; 322; 422) y una superficie superior sustancialmente plana (328) de la lente de metamaterial (120; 322; 422), de modo que la impedancia de onda en la superficie inferior y la superficie superior es sustancialmente igual a la impedancia de onda del espacio libre.

2. La antena reflectora de múltiples haces de la reivindicación 1, en la que la lente de metamaterial (120; 322; 422) proporciona una distribución de elementos superpuestos a partir de al menos dos bocinas de alimentación de la pluralidad de bocinas de alimentación (114; 312; 412).

3. La antena reflectora de múltiples haces de la reivindicación 1 o 2, en la que la superficie inferior sustancialmente plana (118; 324; 426) de la lente de metamaterial (120; 322; 422) está dispuesta adyacente a la al menos una abertura de bocina de alimentación (116; 320; 420) de la pluralidad de bocinas de alimentación (114; 312; 412).

4. La antena reflectora de múltiples haces de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la lente de metamaterial (120; 322; 422) comprende uno o más de materiales de índice bajo (LIM), materiales de índice cero (ZIM) y materiales de índice graduado (GRIN) que tienen un índice de refracción inferior a uno o superior a uno.

5. La antena reflectora de múltiples haces de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la lente de metamaterial (120; 322; 422) tiene un espesor de aproximadamente la mitad de una longitud de onda de una frecuencia central de al menos una de la pluralidad de bocinas de alimentación (114; 312; 412).

6. La antena reflectora de múltiples haces de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que unas muescas están formadas en la superficie inferior (118; 324; 426) de la lente de metamaterial (120; 322; 422), en la que las muescas (428) separan unas porciones superficiales inferiores (426) de la lente de metamaterial (120; 322; 422), estando cada porción acoplada con una abertura de bocina de alimentación (116; 320; 420).

7. La antena reflectora de múltiples haces de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la lente de metamaterial (120; 322; 422) está interpuesta entre la totalidad de las bocinas de alimentación (114; 312; 412) y el al menos un reflector (124; 444).

8. La antena reflectora de múltiples haces de la reivindicación 2, en la que la lente de metamaterial (120; 322; 422) tiene un índice de refracción mayor que o igual a aproximadamente cero y menor que o igual a aproximadamente uno.

9. La antena reflectora de múltiples haces de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada bocina de alimentación (114; 312; 412) en la pluralidad de bocinas de alimentación incluye una sección de garganta (314; 414) que termina en una sección sustancialmente cónica (316; 416), ensanchándose la sección sustancialmente cónica (316; 416) hacia fuera a partir de la sección de garganta (314; 414) y terminando en la abertura de bocina de alimentación (116; 320; 420).

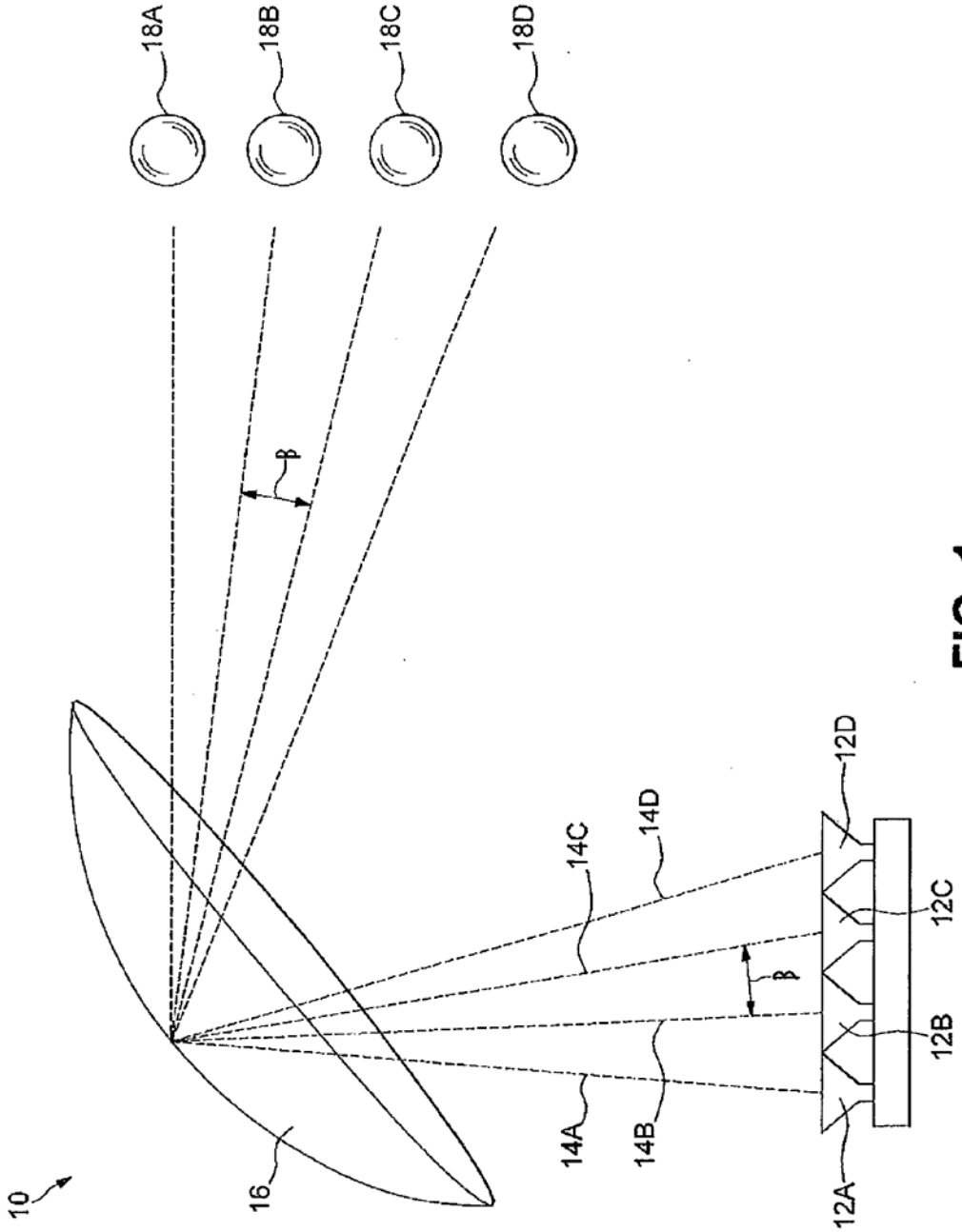

FIG. 1
(TÉCNICA ANTERIOR)

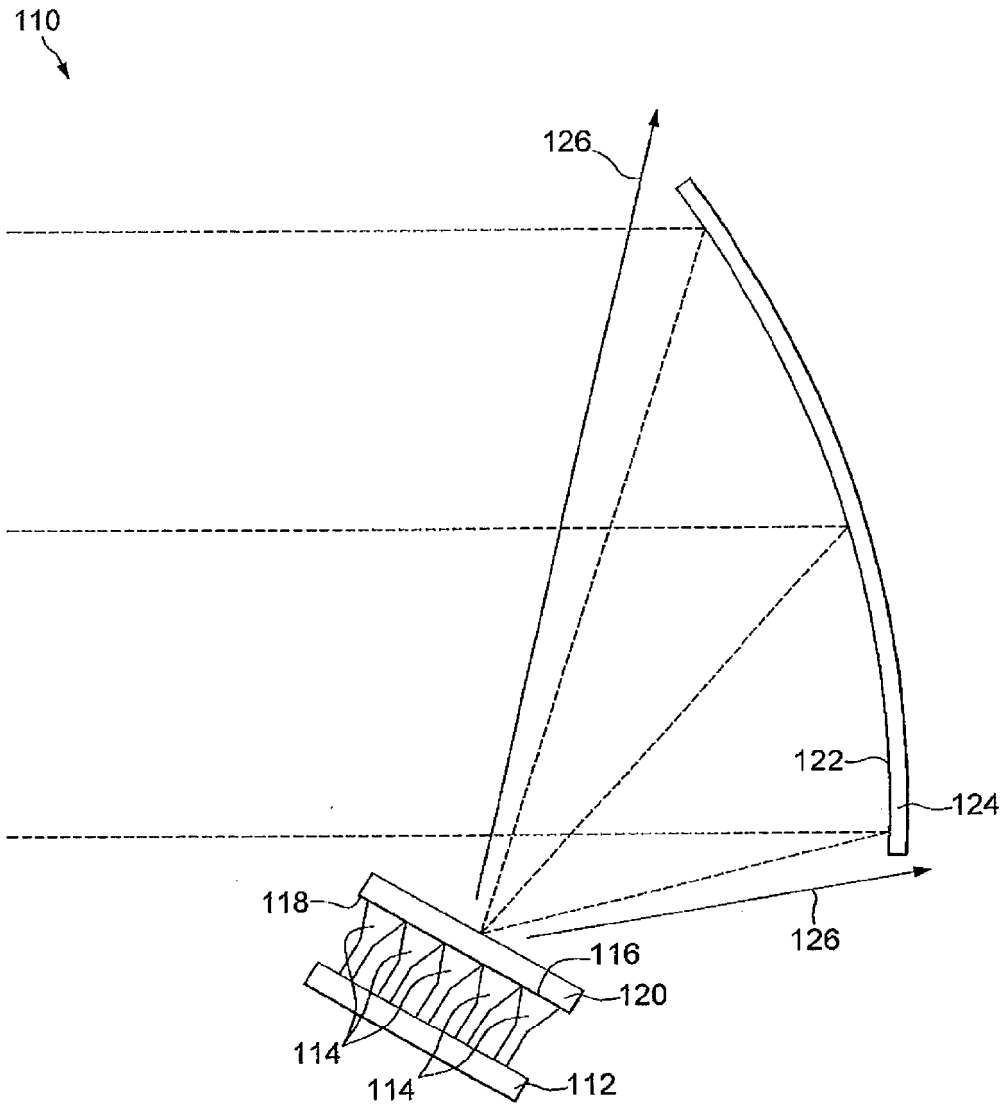

FIG. 2

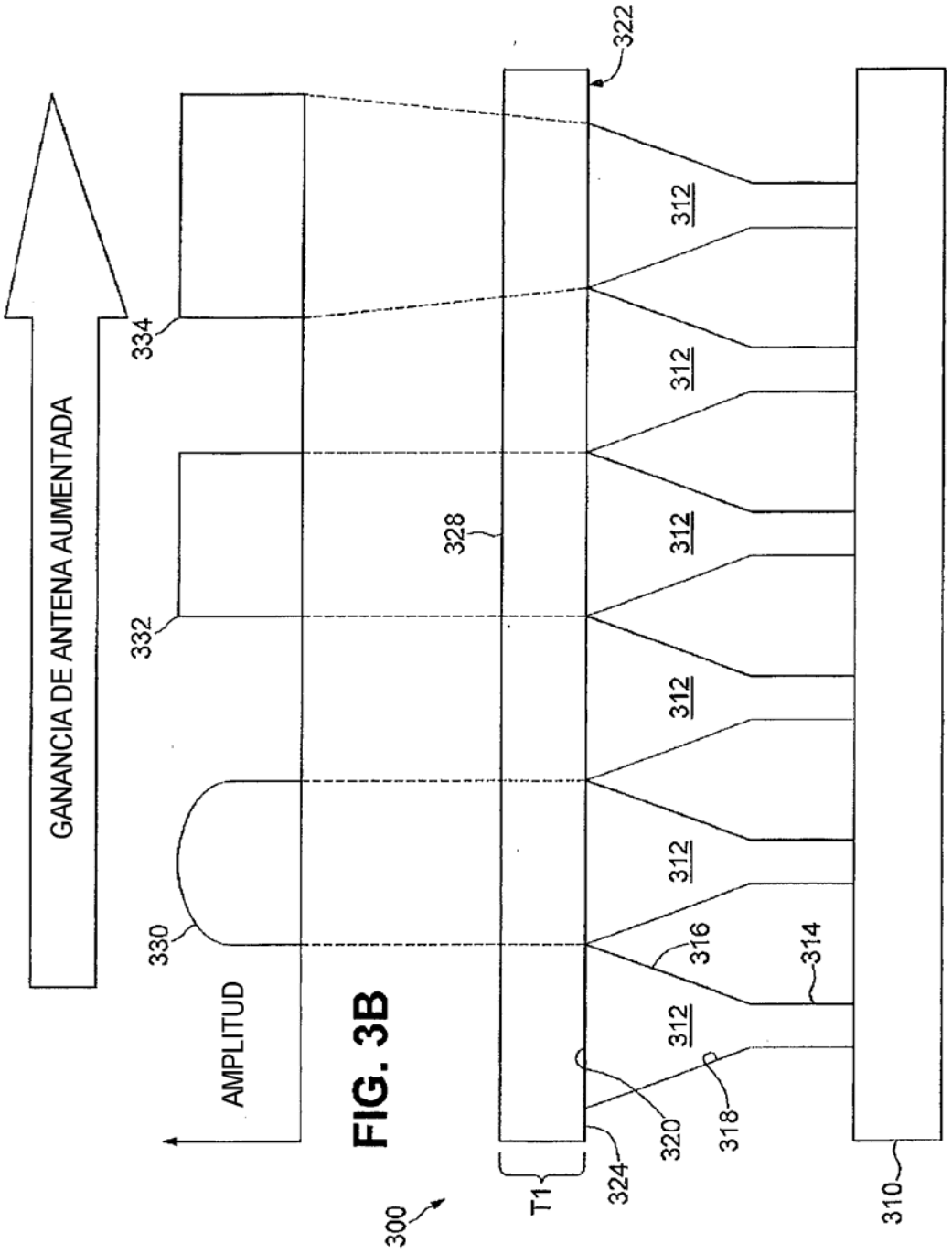
GANANCIA DE ANTENA AUMENTADA
AMPLITUD
330
332
334
328
322
312
316
314
318
320
324
T1
300
310

FIG. 3B

FIG. 3A

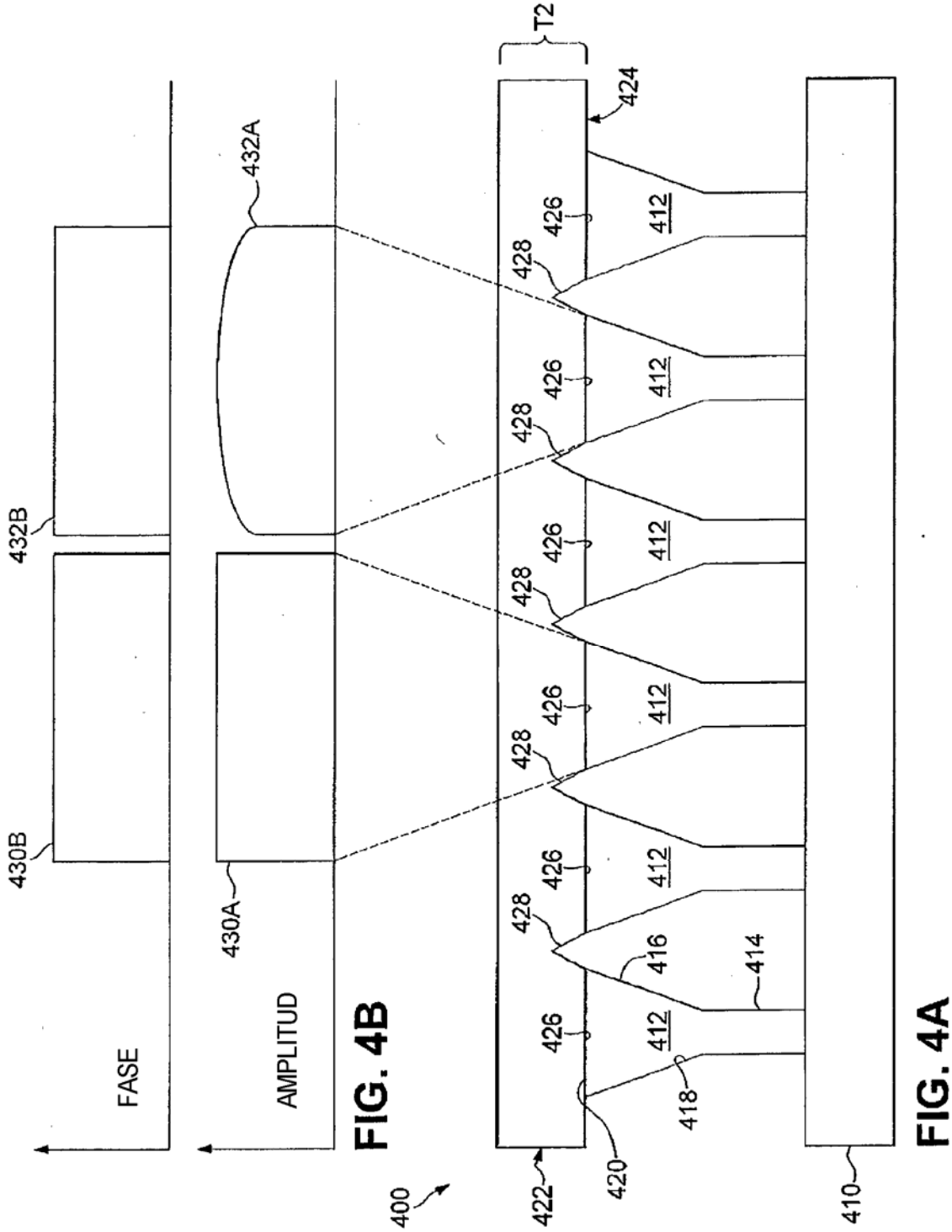
FASE
AMPLITUD
430B
432B
430A
432A
400
422
420
418
416
414
410
412
426
428
424
T2

FIG. 4B

FIG. 4A

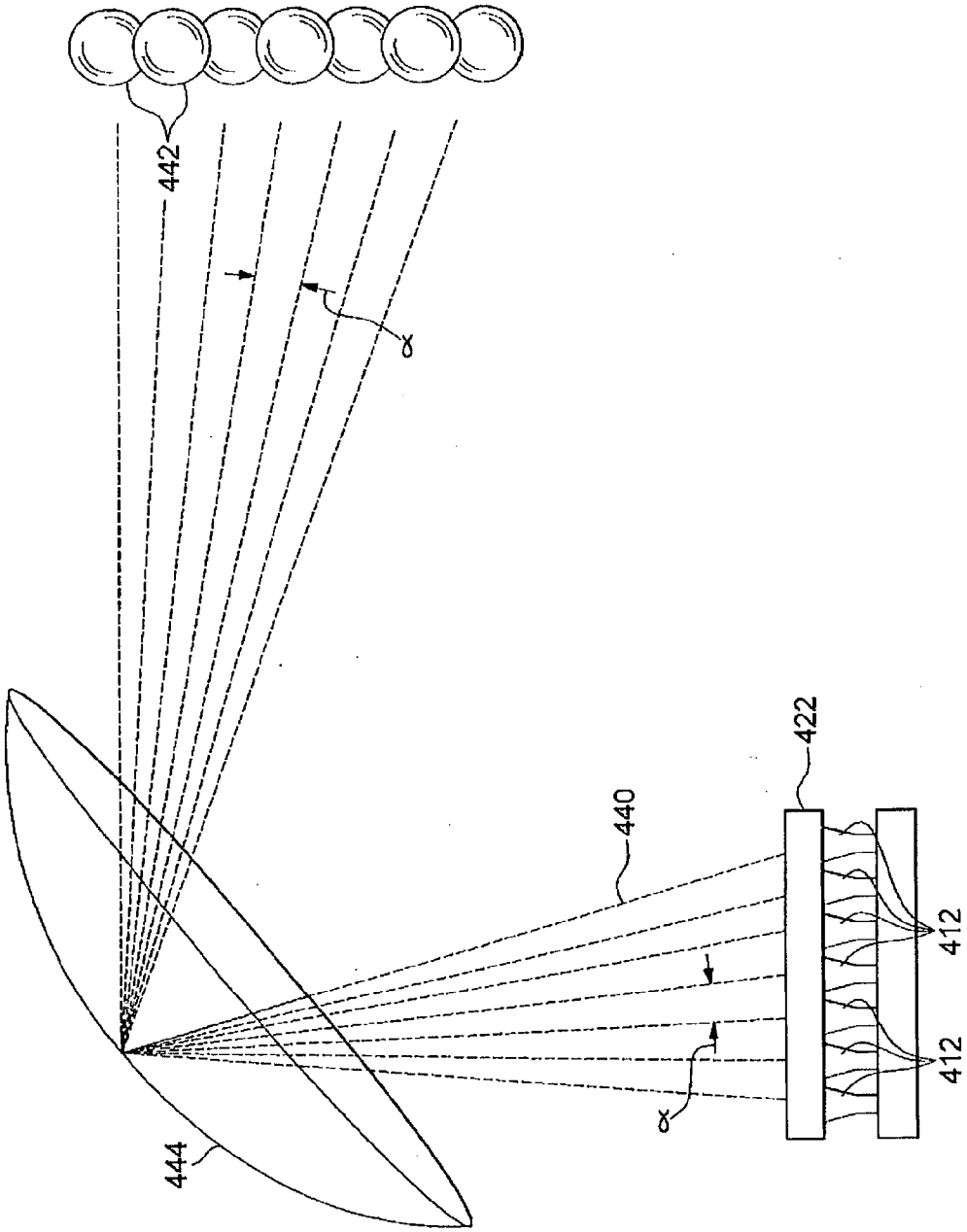

FIG. 5