

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 178**

51 Int. Cl.:

H01L 31/09 (2006.01)

H01Q 1/36 (2006.01)

G02F 2/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.08.2016 PCT/NL2016/050567**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.02.2017 WO17023172**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.08.2016 E 16760813 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019 EP 3332428**

54 Título: **Conjunto de antenas fotoconductoras**

30 Prioridad:

04.08.2015 NL 2015262

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

07.04.2020

73 Titular/es:

**TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT (100.0%)
Stevinweg 1
2628 CN Delft, NL**

72 Inventor/es:

**NETO, ANDREA;
GARUFO, ALESSANDRO;
CARLUCCIO, GIORGIO y
LLOMBART JUAN, NURIA**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

Observaciones:

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o
Bemerkungen) en el folleto original publicado por
la Oficina Europea de Patentes**

ES 2 753 178 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

Conjunto de antenas fotoconductoras

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un conjunto de antenas fotoconductoras.

10 Antecedentes de la Invención

10

En una antena fotoconductora se usan pulsos de luz para excitar corrientes con componentes de alta frecuencia en la antena. Las corrientes con componentes espectrales en el intervalo de Terahercios pueden excitarse, por ejemplo, mediante el uso de pulsos láser con duraciones del orden de los picosegundos. Para este propósito se proporcionan electrodos de antena sobre un sustrato fotoconductor con un espacio entre los electrodos de antena. Se aplican intensos pulsos cortos de láser al sustrato fotoconductor. Los pulsos causan fuertes aumentos en la conductividad en el espacio entre los electrodos de la antena.

15

20

Cuando la antena se usa para la transmisión, se aplica una tensión de CC entre los electrodos, de manera que el aumento de la conductividad pulsada da como resultado aumentos de corriente pulsada a través de los electrodos de la antena. A su vez, la corriente excita la radiación de un campo electromagnético con componentes espectrales en un rango de frecuencia correspondiente a la agudeza del aumento de la corriente. Se sabe que los componentes espectrales en el intervalo de 0,1-5 THz son posibles.

25

JP2012094705 describe una antena fotoconductora con un conjunto de tiras de electrodos de antena paralelas sobre un sustrato fotoconductor, con espacios entre las tiras. El documento discute varias formas de aplicar tensiones de CC. En una modalidad, los extremos de las tiras están conectados a terminales sucesivas de un divisor de tensión de CC resistivo, de modo que se aplican sucesivas diferencias de tensión de la misma polaridad entre pares sucesivos de las tiras. Como se señala en el documento, el uso de las mismas polaridades asegura que los campos electromagnéticos radiados de todos los espacios tengan la misma fase, de modo que los campos electromagnéticos radiados se sumen en una dirección lateral, es decir, en la dirección perpendicular al plano del sustrato en que se proporcionan los electrodos de antena.

30

35

Una fuente de Terahercios se describe en un artículo de Afshin Jooshesh y otros, titulado "Fuentes de terahercios mejoradas con nanoplasmonónica", publicado en Optical Express, parte 22, no 23, página 27992 (Referencia EPO XP05527137). Jooshesh describe el uso de una serie de nanoestructuras hexagonales sobre el espacio entre los electrodos para permitir un aumento del campo de polarización y la densidad de portadores. Jooshesh muestra un ejemplo con un espacio de dipolo de cinco micrómetros cubierto por una serie de nano hexágonos metálicos de aproximadamente medio micrón de tamaño con espacios de 100-200 nanómetros entre los hexágonos. A lo largo de la dirección del campo de polarización, los vértices en las esquinas de los hexágonos se apuntan entre sí, para crear un campo de polarización local más alto y localizar los portadores de fotos.

40

45

Otra fuente de Terahertz se describe en un artículo de Park y otros, titulado "Antena fotoconductora nanoplasmonónica para transmisión Terahertz de alta potencia", publicada en la 16ª Conferencia internacional sobre sensores, actuadores y microsistemas de estado sólido de 2011 (Transductores 2011), IEEE páginas 2498-2501 (Referencia EPO XP031911058). Park integró nanoestructuras metálicas combinadas plasmónicamente en el espacio dipolar de una antena de pajarita Terahertz. La longitud de onda de resonancia plasmónica se corresponde con la longitud de onda óptica (800 nm) del haz de luz que se utiliza para excitar el dispositivo, para aumentar la eficiencia de acoplamiento de la luz.

50

De manera similar, US20140197425 describe un generador de ondas Terahertz con una estructura de cristal de luz 2D para mejorar la absorción de la luz.

55

Para un funcionamiento eficiente de la antena, es conveniente la adaptación de impedancia. Como se sabe per se, en cualquier sistema de antena donde las tensiones generadas se aplican a la antena para crear emisión de radiación electromagnética, pueden distinguirse una impedancia del generador y una impedancia de antena. La "disipación" de energía de acuerdo con la parte real de la impedancia de la antena corresponde a la energía perdida de la antena debido a la emisión de radiación, y caracteriza cómo la tensión entre los terminales de la antena aumenta con el aumento de la corriente. La impedancia del generador caracteriza la forma en que la tensión del generador cae al aumentar la corriente. La eficiencia de la antena es baja cuando la impedancia del generador y la impedancia de la antena no son del mismo orden de magnitud y la eficiencia de la antena es óptima cuando coinciden.

60

Los valores de impedancia de la antena pueden depender de la geometría de la antena, pero casi siempre serán del orden de magnitud de unos pocos cientos de ohmios. En antenas fotoconductoras, la parte real de la impedancia del generador equivalente está determinada por la impedancia de la capa fotoconductora entre pares sucesivos de tiras. En las antenas fotoconductoras conocidas, esta impedancia del generador equivalente suele ser mucho mayor que la impedancia de la antena. Esto conduce a sistemas de antena ineficientes. Sería conveniente tener un diseño de antena en el que se pueda optimizar la adaptación de la impedancia, o las impedancias puedan hacerse al menos del mismo orden de magnitud (por

65

ejemplo, con un factor de no más de tres y preferiblemente de dos en cualquier sentido entre la impedancia del generador y la impedancia de antena). El estado de la técnica no considera este problema.

Breve Descripción de la Invención

5

Entre otros, es un objeto proporcionar una antena fotoconductoras con una estructura de polarización mejorada.

De acuerdo con un aspecto, se proporciona una antena fotoconductoras que comprende

10

- un sustrato fotoconductor;
- una serie de electrodos de antena en o sobre el sustrato;
- un circuito de polarización configurado para determinar las tensiones aplicadas a los electrodos de antena por división de tensión capacitiva sobre una serie de condensadores sucesivos, cada condensador formado por los electrodos de antena de un par respectivo de electrodos de antena en la matriz como placas del condensador.

15

Al utilizar la división de tensión capacitiva para polarizar los electrodos de la antena, puede asegurarse fácilmente la misma polarización de todas las corrientes de antena durante la emisión de radiación electromagnética desde la antena. Se hacen posibles ondas de desplazamiento continuas de un electrodo de antena al siguiente. Las tensiones aplicadas se determinan por división de tensión capacitiva cuando no hay fuentes de tensión individuales conectadas a diferentes electrodos y no hay conexiones resistivas a los electrodos de antena, que no sean a través del sustrato fotoconductor, o al menos no con resistencias que producen un flujo de carga que sea significativo en comparación con la carga en los condensadores formados por los electrodos de la antena entre los pulsos de luz utilizados para excitar la antena. El uso de la división de tensión capacitiva simplifica significativamente la polarización en comparación con donde la tensión debe determinarse mediante polarización de CC.

20

25

De acuerdo con otro aspecto, los electrodos de antena sucesivos de cada uno de los pares respectivos están separados por espacios entre pares de electrodos de antena sucesivos; la antena fotoconductoras comprende además una pluralidad de microlentes ubicados sobre el sustrato fotoconductor, cada microlente está configurado para concentrar la luz entrante en una parte del sustrato fotoconductor o en la que se encuentra uno de los espacios respectivos. Los microlentes permiten aumentar las intensidades de luz en los espacios y, por lo tanto, reducir la impedancia del generador.

30

En una modalidad, los electrodos de antena sucesivos, cada uno de los pares respectivos está separado por una ranura respectiva, cada ranura comprende una subsección estrecha, dejando un espacio entre los pares de electrodos de antena sucesivos en el que la ranura es más estrecha que fuera dicha subsección. El uso de espacios que se estrechan permite reducir la impedancia efectiva del generador del sistema de antena e incluso optimizar la adaptación de la impedancia.

35

De acuerdo con la reivindicación 1, la antena fotoconductoras comprende una pluralidad de microlentes ubicados sobre el sustrato fotoconductor, cada una de los microlentes está configurado para concentrar la luz entrante en una parte del sustrato fotoconductor o en el que se encuentra uno de los espacios respectivos. Los microlentes permiten aumentar las intensidades de luz en los espacios y, por lo tanto, reducir la impedancia del generador.

40

En una modalidad, cada uno de los electrodos de antena tiene una forma que comprende una tira alargada, las tiras alargadas de los electrodos de antena se extienden en paralelo entre sí a lo largo de su longitud, separadas por ranuras. En una modalidad adicional, cada ranura comprende una serie de subsecciones estrechas, dejando una serie de espacios entre pares sucesivos de electrodos de antena en los que la ranura es más estrecha que fuera de dichas subsecciones.

45

El uso de espacios que se estrechan permite reducir la impedancia efectiva del generador del sistema de antena e incluso optimizar la adaptación de la impedancia.

50

En una modalidad, el conjunto de electrodos de antena comprende un conjunto bidimensional de islas de material conductor sobre o en el sustrato fotoconductor, estando configurado el circuito de polarización para aplicar una diferencia de tensión entre una primera tensión de las islas en una primera fila del conjunto, y una segunda tensión de las islas en una segunda fila de la matriz, la primera y segunda fila se encuentran en los extremos opuestos de la matriz. Esto minimiza las corrientes cruzadas.

55

En una modalidad, la antena comprende un lente de antena ubicado adyacente al sustrato fotoconductor, configurado para recoger la radiación electromagnética generada por las corrientes eléctricas a través de los electrodos de la antena. Esto puede usarse para mejorar la directividad.

Breve descripción de las figuras

60

Estos y otros objetos y aspectos ventajosos serán evidentes a partir de una descripción de modalidades ejemplares con referencia a las siguientes figuras.

La Figura 1 muestra un sistema de antena fotoconductoras

La Figura 2 muestra otro sistema de antena fotoconductoras

65

La Figura 3 muestra un detalle de electrodos en una matriz de electrodos de antena

La figura 4 muestra una estructura esquemática eléctrica resultante

La Figura 5 muestra una estructura eléctrica de un diseño de electrodo alternativo

Descripción detallada de las modalidades ilustrativas.

5 La Figura 1 muestra esquemáticamente un sistema de antena fotoconductor. El sistema comprende una fuente láser de pulsos 10, una capa fotoconductor 12, electrodos 14, lentes de irradiación 16 y un circuito de suministro de tensión 17. La capa fotoconductor 12 y los electrodos 14 forman la antena fotoconductor como tal. La capa fotoconductor 12 forma un sustrato fotoconductor para los electrodos 14. Los electrodos 14 están provistos en la parte superior de la capa fotoconductor 12 en contacto eléctrico con la capa fotoconductor 12, alternativamente, los electrodos pueden estar embebidos en la capa fotoconductor 12, por ejemplo, cerca de su superficie y cubiertos por todos los lados con material fotoconductor. Se usa una pluralidad de electrodos separados 14, con espacios 18 entre los electrodos 14. El circuito de suministro de tensión 17 está acoplado a los electrodos más externos 14. Se proporcionan lentes de irradiación 16 entre la fuente láser de pulsos 10 y los electrodos 14. Los lentes de irradiación 16 están ubicados para concentrar la luz de la fuente láser de pulsos 10 en los espacios 18. La capa fotoconductor 12 puede ser una capa semiconductor de arseniuro de galio, por ejemplo, pero puede usarse cualquier otro fotoconductor.

Preferiblemente, el número de electrodos separados 14 es tan grande que el ancho de la antena, medido desde el electrodo más a la izquierda hasta el electrodo más a la derecha, es sustancialmente mayor que las longitudes de onda de la radiación de Terahercios que será transmitida o recibida por la antena. Esto hace posible crear un patrón directivo de antena con los electrodos 14. La longitud de onda de la radiación de Terahercios es de aproximadamente cien micrómetros y se prefiere un ancho de antena de al menos medio milímetro. El ancho de los electrodos individuales 14 puede ser más pequeño que las longitudes de onda de Terahercios y los espacios 18 pueden ser mucho más pequeños que los anchos de los electrodos 14, por ejemplo, del orden del tamaño de los puntos de luz que pueden enfocarse en los espacios 18, por ejemplo al menos un micrómetro o al menos dos micrómetros.

25 La Figura 2 muestra un sistema de antena fotoconductor de sistema más elaborado, que comprende un portador 120 y un lente de antena 122, en el que la capa fotoconductor 12 se proporciona sobre una superficie del portador 120 y el lente de antena 122 se proporciona sobre la superficie opuesta del portador 120. El lente de antena 122 se configura para estrechar el haz de radiación electromagnética generada mediante las corrientes a través de los electrodos 14 y la capa fotoconductor 12. En esta modalidad, la capa fotoconductor 12, los electrodos 14, el portador 120 y la lente de antena 122 forman la antena fotoconductor como tal.

35 La Figura 3 muestra un detalle de los electrodos 14 en una modalidad del sistema de antena, visto en una dirección perpendicular a la superficie de la capa fotoconductor (no mostrada). En esta modalidad, los electrodos 14 son tiras alargadas, separadas mediante ranuras 32. Como se usa en la presente descripción, el término "ranura" se usa, en su sentido habitual en la técnica de las antenas, para referirse a un espacio que separa estructuras conductoras de la electricidad como las tiras, independientemente de si este espacio está (parcialmente) rellenado con material fotoconductor. Como se usa en la presente descripción, el término "ranura" no implica ni niega ninguna estructura en el material fotoconductor, como una ranura, o un espacio donde el material fotoconductor está ausente: el material fotoconductor puede tener una superficie plana continua en el plano de la antena.

45 En una pluralidad de posiciones a lo largo de al menos una de las tiras, la tira tiene protuberancias 30 que se extienden hacia una tira vecina. En las posiciones de las protuberancias, las ranuras 32 se estrechan para formar los espacios 18. En la modalidad ilustrada, estos espacios estrechos se forman en las posiciones correspondientes en lados opuestos de las tiras, de manera que la distancia entre pares de espacios estrechos en lados opuestos de las tiras es mínima. En una modalidad alternativa, los espacios estrechos formados sobre los lados opuestos de una tira pueden estar desplazados. Esto puede usarse para crear corrientes de THz en una dirección oblicua a través de los electrodos 14. Sin embargo, se prefieren distancias mínimas ya que permiten una mayor potencia y un ancho de banda más amplio.

50 Como se muestra, las tiras a ambos lados de los huecos estrechados entre las tiras tienen protuberancias y los espacios surgen entre estas protuberancias. Esto ayuda a concentrar la corriente, pero no es indispensable: en otra modalidad, se puede proporcionar una protuberancia solo en un electrodo en un lado del espacio estrecho, frente a una parte recta del electrodo en el otro lado del espacio angosto donde no hay protuberancias o incluso enfrentando una muesca en el electrodo en el otro lado del espacio. En una modalidad, una o más islas adicionales de material conductor eléctrico pueden estar presentes en un espacio, lo que estrecha aún más la distancia unida por el material fotoconductor. Pero preferiblemente, el material fotoconductor puentea toda la distancia entre la(s) protuberancia(s) desde el(los) electrodo(s).

60 La Figura 4 muestra una estructura esquemática eléctrica resultante, en donde el circuito de suministro de tensión está representado por una fuente de tensión 40 e inductancias 42. Las inductancias 42 pueden ser inductancias efectivas formadas por tramos de línea de transmisión. Las inductancias 42 funcionan para contrarrestar los cambios de corriente de la fuente de tensión 40 en la escala de tiempo de la duración de los pulsos de la fuente láser de pulsos 10, pero no en la escala de tiempo de repetición de pulso. En una modalidad, el papel de las inductancias es presentar un circuito abierto al menos en el rango de THz, de modo que las corrientes de THz permanezcan limitadas a los electrodos 14 y la capa fotoconductor 12, mientras que la corriente puede fluir desde la fuente de tensión 40 a frecuencias en el rango de la frecuencia de repetición de pulso, por ejemplo en el rango de 100MHz

En la ausencia de conductividad en la capa fotoconductor, cada par de electrodos sucesivos forma una estructura de condensador, con los electrodos sucesivos como placas de condensadores y las ranuras como espacios entre las placas. Como debe señalarse, los electrodos que no sean los electrodos más externos no están conectados a conexiones eléctricas que influyen en su potencial eléctrico, salvo a través de su funcionamiento como condensadores y su conexión a través de la capa fotoconductor.

Por lo tanto, la ausencia de conductividad en la capa fotoconductor y la carga neta inicial en los electrodos internos, los electrodos 14 están configurados para funcionar como un divisor de tensión capacitivo que divide la tensión del circuito de suministro de tensión 17. Los electrodos 14 funcionan como un divisor de tensión capacitivo incluso si la capa fotoconductor tiene cierta conductividad, cuando la constante de tiempo de fuga definida por esta conductividad y las capacitancias formadas por los electrodos 14 es menor que la distancia de tiempo entre los pulsos láser (por ejemplo, aproximadamente 10 nanosegundos). Los electrodos 14 también funcionan como un divisor de tensión capacitivo, incluso los electrodos que no sean los electrodos más externos que están conectados a otras conexiones eléctricas que influyen en el potencial

En funcionamiento como una antena de transmisión, el circuito de suministro de tensión 17 aplica una tensión de CC entre los electrodos más externos y la fuente láser de pulsos 10 emite pulsos de luz láser. En una modalidad, pueden usarse pulsos de luz con una duración inferior a un picosegundo (por ejemplo, 200 femtosegundos), con una frecuencia de repetición del orden de 100 MHz, por ejemplo, entre 30 MHz y 300 MHz, o 50 MHz y 200 MHz. Durante cada pulso de luz, la conductividad de la capa fotoconductor 12 aumenta rápidamente debido a la excitación de los portadores de carga móvil en la capa fotoconductor 12. Esto da como resultado una conexión temporal de baja resistencia de los electrodos 14, y corrientes entre los electrodos 14 que reducen las diferencias de potencial eléctrico entre los electrodos 14.

La corriente excita un campo electromagnético que se irradia desde la antena. La naturaleza abrupta del aumento de la corriente tiene el efecto de que la corriente y el campo irradiado tienen un espectro de frecuencia que contiene un amplio rango de frecuencias, hasta una frecuencia máxima determinada por la agudeza del aumento de la conductividad y/o las propiedades de excitación de la capa fotoconductor 12. La naturaleza abrupta de los pulsos de láser y la capa fotoconductor 12 hacen posible crear espectros en los que la frecuencia máxima se encuentra en el rango de THz (por ejemplo, entre 1 y 10 THz). Las densidades de corriente más fuertes se producen en los espacios en las posiciones de las protuberancias 30, donde el campo eléctrico es más fuerte y donde la luz se concentra mediante lentes de irradiación 16. Después de cada pulso, la conductividad de la capa fotoconductor 12 decae debido a la recombinación. Preferiblemente, se usa un material fotoconductor como el arseniuro de galio, en el que la fotoconductividad también disminuye rápidamente después del final del pulso (por ejemplo, en menos de un picosegundo). Esto intensifica la parte de alta frecuencia del espectro.

Durante los intervalos de tiempo entre pulsos de la fuente láser de pulsos 10, cuando la fotoconductividad ha disminuido, los electrodos 14 actúan como una conexión en serie de condensadores, correspondiendo cada par respectivo de electrodos y la ranura entre estos electrodos a un capacitor. En los intervalos de tiempo entre pulsos, la capa fotoconductor 12 forma, a lo sumo, trayectorias de fuga a través de estos condensadores, que pueden ignorarse en una escala de tiempo corta. Como consecuencia, en tal escala de tiempo, el conjunto de electrodos 14 actúa como un divisor de tensión capacitivo, que divide la tensión de salida de CC del circuito de suministro de tensión 17 entre los condensadores. Cada electrodo 14 está polarizado eléctricamente por la separación de cargas de polaridad opuesta que se acumulan en electrodos adyacentes opuestos 14. En una modalidad en donde las capacitancias formadas por todos los pares de electrodos sucesivos 14 son iguales, la tensión de salida de CC se divide por igual entre los electrodos 14. De esta manera, cada par de tiras consecutivas presenta la misma diferencia de tensión dando lugar a campos eléctricos de polarización, todos orientados en la misma dirección a través de las ranuras entre los electrodos 14.

Durante los pulsos de luz láser, de la fuente láser de pulsos 10 la conductividad de la capa fotoconductor 12 aumenta, y surgen corrientes eléctricas a través de la capa fotoconductor 12 que descargan al menos parcialmente los condensadores formados por los electrodos 14, principalmente a través de los espacios 18. En escalas de tiempo en donde las que las inductancias 42 no permiten cambios de corriente de la fuente de tensión 40, se reducen las diferencias de tensión entre los electrodos 4 e incluye la diferencia de tensión general entre los electrodos más externos. En una escala de tiempo más larga, la corriente de la fuente de tensión 40 hace que la tensión entre los electrodos más externos aumente y el efecto del divisor de tensión capacitivo provoca esta distribución de este aumento sobre los espacios entre electrodos sucesivos 14, para su uso durante el siguiente pulso de luz láser. Cuando las tensiones de los electrodos 14 no se distribuyen inicialmente en proporción inversa a las capacitancias, la distribución tenderá a distribuirse en proporción inversa a las capacitancias, como resultado de sucesivos pulsos de luz láser. En una modalidad, pueden usarse uno o más pulsos de luz láser relativamente más largos (por ejemplo, al menos dos veces más largos) antes que una serie de pulsos de luz láser relativamente más cortos para asegurar que se realice una distribución de proporción inversa a las capacitancias antes de la serie de pulsos de luz láser relativamente más cortos con los que se genera radiación de Terahercios.

La estructura ilustrada permite una distribución eficiente de los espacios 18 en la superficie sin recurrir a ninguna máscara en el material fotoconductor y en los electrodos. Todas las corrientes fluyen en la misma dirección. Como consecuencia, la corriente total en la estructura puede considerarse como una corriente continua a través de todos los electrodos, en la dirección perpendicular a la longitud de las tiras. Esto realiza efectivamente una matriz conectada de elementos de antena.

A lo largo de la matriz, las ondas de superficie electromagnética pueden viajar continuamente en la dirección perpendicular a la longitud de las tiras.

5 En el conjunto, los espacios 18 se caracterizan por una impedancia del generador sustancialmente independiente de la frecuencia. Como se sabe per se, en cualquier sistema de antena donde las tensiones generadas se aplican a la antena para crear radiación electromagnética transmitida, puede distinguirse una impedancia del generador y una impedancia de la antena. Suponiendo electrodos de antena perfectamente conductores, la "disipación" de energía según la parte real de la impedancia de la antena corresponde a la energía perdida de la antena debido a la emisión de radiación, y caracteriza cómo la tensión entre los terminales de la antena aumenta con el aumento de la corriente. La impedancia del generador caracteriza la forma en que la tensión del generador cae al aumentar la corriente. La eficiencia de la antena es baja cuando las partes reales de la impedancia del generador y la impedancia de la antena no son del mismo orden de magnitud y la eficiencia de la antena es óptima cuando coinciden. Los valores de impedancia de la antena pueden depender de la geometría de la antena, pero casi siempre serán del orden de magnitud de unos pocos cientos de ohmios.

15 En las antenas fotoconductoras, una impedancia equivalente del generador se determina por la impedancia de la capa fotoconductoras 12 entre pares sucesivos de electrodos 14 durante los pulsos de luz. En las antenas fotoconductoras conocidas, esta impedancia del generador equivalente suele ser mucho mayor que la impedancia de la antena, lo que conduce a sistemas de antena ineficientes.

20 En la presente antena fotoconductoras, la impedancia está determinada por la impedancia del material fotoconductor en los espacios 18 durante los pulsos de luz. La impedancia equivalente del generador formada por los espacios 18 puede regularse ajustando parámetros ópticos como la potencia del láser y el enfoque, parámetros eléctricos como la tensión del circuito de suministro de tensión 17, mediante parámetros geométricos como las dimensiones del espacio, es decir, la distancia entre electrodos adyacentes en el espacio (denominado ancho del espacio) y la longitud del espacio (la longitud de las protuberancias 30).

30 En una modalidad ilustrativa, puede usarse un láser de pulsos que produce pulsos de 80fs de ancho FWHM con una longitud de onda de 780 nm, una tasa de repetición de 82MHz y una potencia media de 15mW. Se puede usar un fotoconductor LT-GaAs con un grosor de $W_z = 1,5 \mu\text{m}$, un tamaño de separación de 10 por 10 micrómetros y el tamaño de punto láser correspondiente, y una tensión de polarización de 30V aplicado a los electrodos. Suponiendo el valor típico de los parámetros eléctricos del fotoconductor LT-GaAs: una permitividad eléctrica relativa $\epsilon_r = 13$; un coeficiente de absorción $\alpha = 10^6 \text{ m}^{-1}$ (el símbolo " \wedge " que representa tomar una potencia, es decir, $10^6 = 1\ 000\ 000$), velocidades de saturación de electrones y agujeros $v_e = v_h = 10^4 \text{ m/s}$, y tiempo de vida de los portadores $\tau_e = \tau_h = 0,3\text{ps}$, el comportamiento de la fotoconductancia simulada de los espacios tiene un pico de aproximadamente 0,043 Siemens en 0,05 picosegundos. La conductividad disminuye con un tiempo de valor medio de aproximadamente 0,3 picosegundos, produciendo una conductividad promedio de aproximadamente 0,011 Siemens en un intervalo de tiempo de 1,5 picosegundos. Esto da como resultado una impedancia del generador de 457 Ohm (suponiendo una fluencia láser de 0,084 mili Joule por centímetro cuadrado).

40 Para tamaños de espacio de 5 por 5 micrómetros y de 2 por 2, la conductividad alcanza un máximo de aproximadamente 0,017 Siemens y 0,009 Siemens respectivamente, en la misma escala de tiempo, lo que resulta en promedios de aproximadamente 0,004 y 0,002 Siemens e impedancias del generador de 230 Ohm y 92 Ohm respectivamente. Como puede verse, esto permite una impedancia de antena y generador coincidente. Enfocar la potencia del láser en un pequeño espacio ayuda a obtener un valor de resistencia adecuado para igualar la impedancia de la antena sin riesgo de daños debido a la alta potencia del láser y/o a la tensión de polarización.

50 Más densidad de potencia láser en los espacios reduce la impedancia del generador. Los lentes de irradiación 16 sirven para aumentar la intensidad de la luz en los espacios 18, a expensas de la intensidad de la luz en áreas fuera de los espacios, reduciendo así la impedancia del generador equivalente. Estrechar el espacio y extender su longitud también reduce la impedancia del generador. El uso de protuberancias 30 sirve para aumentar la densidad de corriente en las ranuras en la ubicación de los espacios, reduciendo así localmente la impedancia del generador equivalente. Cuando el ancho de separación (por ejemplo, unos pocos micrómetros) es mucho más pequeño que la longitud de onda de interés (que es de aproximadamente 100 micrómetros para aplicaciones THz), puede esperarse razonablemente que la impedancia sea casi independiente de la frecuencia en un ancho de banda amplio. Por ejemplo, esto puede realizarse en un ancho de banda de 0,1-5 THz.

60 La antena actual permite hacer coincidir la parte real de la impedancia del generador definida por los espacios 18 con la de la impedancia de la antena y hacerlo en una banda de frecuencia amplia, o al menos hacerlas del mismo orden de magnitud (por ejemplo, con no más que un factor tres y preferiblemente dos en ambos sentidos entre la impedancia del generador y la impedancia de la antena). La capacidad de proporcionar una impedancia del generador en el mismo orden de magnitud que la impedancia de la antena aumenta significativamente la eficiencia de la antena.

65 En una modalidad, puede usarse una losa de material fotoconductor de arseniuro de galio (permitividad eléctrica relativa de 13, coeficiente de absorción de luz de 10^6 por centímetro, velocidades de saturación de electrones y agujeros de $6 \times 10^4 \text{ m/s}$ y tiempos de vida útil de 0,3 picosegundos). En esta modalidad, puede usarse una fuente láser de pulsos con una longitud de onda operativa de 800 nm, una potencia óptica de 240 mW, un ancho de pulso de 200 fs y una frecuencia

de repetición de pulso de 76MHz. Se puede usar un circuito de fuente de tensión que proporcione 18 voltios por espacio (es decir, $N_y \cdot 18V$ si se usan electrodos $N_y + 1$). Se pueden usar lentes de irradiación con un radio de $R_m = 20$ micrómetros y una longitud de extensión de $0,62 R_m$.

5 Puede usarse una matriz periódica de espacios, con períodos dx y dy a lo largo de la longitud de los electrodos y perpendiculares a los electrodos respectivamente (dx y dy igual a 40 micrómetros por ejemplo y cada uno preferiblemente al menos 20 micrómetros y con mayor preferencia al menos 40 micrómetros). Pueden usarse espacios de micrómetros, con una distancia W_y entre los electrodos en lados opuestos del espacio y la longitud del espacio W_x en la dirección de la longitud de la tira (W_x y W_y igual a 2 micrómetros, por ejemplo). Esto da como resultado valores de capacitancia del espacio en el orden de algunos femtofaradios (1-10 fF).

15 Se coloca una matriz de electrodos $N_y + 1$ en forma de tiras conductoras de electricidad sobre la losa. Con espacios N_x entre cada par de tiras sucesivas. A modo de ejemplo, $N_x = 13$ y $N_y = 13$. Cada par de tiras sucesivas forma una ranura de ancho W_s fuera de los espacios ($W_s = 15$ micrómetros, por ejemplo). Por lo tanto, el número total de ranuras es N_y . Los espacios se obtienen mediante una reducción periódica de la ranura. La distancia entre los centros de franjas consecutivas es dy , mientras que la distancia entre los centros de espacios consecutivos a lo largo de cada ranura es dx . Por lo tanto, la celda elemental de la matriz conectada tiene dimensiones $dx \cdot dy$.

20 La disposición de las tiras realiza una serie de ranuras conectadas. Los espacios de las ranuras y los períodos a lo largo de x e y del conjunto conectado están diseñados para obtener una impedancia de entrada deseada para cada elemento del conjunto. Además, están diseñados para tener un campo eléctrico de alta polarización en cada espacio para obtener intensidades de corriente altas cuando el fotoconductor está excitado. Con el objetivo de alimentar la matriz sustancialmente solo en los huecos y usar eficientemente la potencia óptica suministrada por el láser y la matriz de lentes de irradiación. Esto dio como resultado una resistencia equivalente estimada del generador de 220 Ohm, que es del mismo orden de magnitud que la impedancia de la antena. El ajuste fino de la geometría de los espacios de alimentación, y el diseño óptico, para obtener un generador de impedancia equivalente real de valor comparable a la impedancia de la antena puede ser esencial cuando la radiación de potencia THz debe maximizarse. Sin embargo, en muchos casos puede ser suficiente una potencia subóptima. En la superficie de la losa fotoconductor opuesta a la superficie en la que se ubican las tiras, se colocó una lente de antena de silicio para obtener la potencia radiada del conjunto conectado. Puede usarse una lente de antena de radio $R = 2$ mm y longitud de extensión $E = 0,3R$.

35 Como referencia, se observa que las antenas fotoconductoras también pueden usarse como antena de recepción, aprovechando el hecho de que la irradiación electromagnética entrante crea campos eléctricos a través de los espacios, que afectan las corrientes. Puede usarse un sistema en el que los mismos pulsos de luz se aplican con un retraso mutuo a una antena de transmisión y una antena de recepción (o a la misma antena que actúa tanto como antena de transmisión como antena de recepción), cuando la antena de recepción recibe radiación de la antena de transmisión después de la transmisión y/o reflexión a través de un medio. Midiendo un efecto de la irradiación electromagnética para obtener una serie de diferentes retrasos entre los pulsos se pueden obtener mediciones de transmisión y/o reflexión resueltas espectralmente. Además, los conjuntos fotoconductores propuestos conectados son soluciones adecuadas también como receptores de radiación THz de ancho de banda ultra ancho, aumentando considerablemente la relación señal/ruido de recepción. Se puede obtener un receptor simplemente usando las mismas estructuras propuestas sin el esquema de polarización de CC y conectándolos directamente al amperímetro para la lectura de la corriente de salida.

45 La Figura 5 muestra una configuración alternativa de electrodos, en la que todos los electrodos, excepto los más externos 50, se han reducido a una serie de islas 52 en lugar de tiras continuas. Las protuberancias 30 se encuentran en las islas 52. Eléctricamente, el funcionamiento de las Figuras 4 y 5 es muy similar. En ambos, la carga capacitiva se acumula principalmente a lo largo de los espacios 18 en los intervalos de tiempo entre los pulsos de luz de la fuente láser de pulsos 10. De manera similar, en ambas corrientes durante los pulsos fluyen principalmente en los espacios y a través de la parte del cuerpo del electrodo entre los espacios en los lados opuestos de los electrodos. Los electrodos laterales entre las islas 52 no son necesarios para estos efectos.

55 Una diferencia entre las modalidades de la Figura 4 y 5 es que hay una pluralidad de divisores de tensión capacitivos paralelos en la modalidad de la Figura 5, mientras que solo hay un divisor de tensión capacitivo paralelo en la Figura 4, o, equivalentemente, que hay conexiones laterales entre una pluralidad de divisores de tensión capacitivos paralelos. Esto iguala las distribuciones de tensión en los diferentes divisores de tensión capacitivos. Sin embargo, pueden garantizarse distribuciones de tensiones iguales en la Figura 5 cuando las tolerancias de fabricación se mantienen tan pequeñas que las capacidades de los espacios no difieren significativamente. En la modalidad de la Figura 5, las corrientes de THz pueden estar limitadas espacialmente más estrictamente, lo que puede mejorar el ancho de banda y la eficiencia de la antena.

60 En una modalidad, se proporciona una antena fotoconductor que comprende
 - un sustrato fotoconductor;
 - una serie de electrodos de antena en o sobre el sustrato;
 - un circuito de polarización configurado para determinar las tensiones aplicadas a los electrodos de antena por división de tensión capacitiva sobre una serie de condensadores sucesivos, cada condensador formado por los electrodos de antena de un par respectivo de electrodos de antena en la matriz como placas del condensador. En una modalidad

adicional, los espacios entre los pares sucesivos de electrodos de antena tienen un ancho de al menos un micrómetro. Los espacios pueden tener una longitud de al menos dos micrómetros. La distancia entre los espacios sucesivos de puede ser de al menos veinte micrómetros y preferiblemente al menos cuarenta micrómetros.

- 5 En una modalidad adicional, los electrodos de antena sucesivos de cada uno de los pares respectivos están separados por una ranura respectiva, cada ranura comprende una subsección estrecha, dejando un espacio entre pares de electrodos de antena sucesivos en donde la ranura es más estrecha que fuera de dicha subsección.

REIVINDICACIONES

1. Una antena fotoconductoras que comprende
 - un sustrato fotoconductor;
 - una serie de electrodos de antena en o sobre el sustrato;
 - un circuito de polarización que se configura para determinar las tensiones que se aplican a los electrodos de antena por división de tensión capacitiva sobre una serie de condensadores sucesivos, cada condensador se forma por los electrodos de antena de un par respectivo de electrodos de antena en la matriz como placas de condensador; en donde los electrodos de antena sucesivos de cada uno de los respectivos pares se separan por espacios entre pares de electrodos de antena sucesivos; caracterizado porque la antena fotoconductoras comprende
 - una pluralidad de microlentes que se ubican sobre el sustrato fotoconductor, cada microlente que se configura para concentrar la luz entrante en una parte del sustrato fotoconductor sobre o en el que se encuentra uno de los espacios respectivos.
2. Una antena fotoconductoras de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los electrodos de la antena se aíslan eléctricamente entre sí a través del sustrato fotoconductor.
3. Una antena fotoconductoras de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los electrodos de antena sucesivos de cada uno de los pares respectivos se separan por una ranura respectiva, cada ranura comprende una subsección estrecha, dicho espacio que se deja entre pares sucesivos de electrodos de antena, en donde la ranura es más estrecha que fuera de dicha subsección.
4. Una antena fotoconductoras de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los electrodos de antena definen un conjunto bidimensional de espacios entre pares de electrodos de antena, los espacios que se forman en subsecciones estrechas de ranuras respectivas que separan electrodos de antena sucesivos en la forma de tiras alargadas paralelas o entre bordes paralelos de islas de electrodos de un conjunto bidimensional de islas de electrodos en posiciones correspondientes a secciones de las tiras alargadas entre los espacios.
5. Una antena fotoconductoras de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, que comprende una pluralidad de microlentes que se ubican sobre el sustrato fotoconductor, cada microlente que se configura para concentrar la luz entrante en una parte del sustrato fotoconductor sobre o en los que se encuentra uno de los espacios respectivos.
6. Una antena fotoconductoras de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 5, en donde los espacios tienen un ancho de al menos un micrómetro.
7. Una antena fotoconductoras de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 6, en donde los espacios tienen una longitud de al menos dos micrómetros.
8. Una antena fotoconductoras de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 7, en donde la distancia entre los espacios sucesivos es de al menos veinte micrómetros y preferentemente al menos cuarenta micrómetros.
9. Una antena fotoconductoras de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada uno de los electrodos de antena tiene una forma que comprende una tira alargada, las tiras alargadas de los electrodos de antena se extienden en paralelo entre sí a lo largo de su longitud, separadas por ranuras.
10. Una antena fotoconductoras de acuerdo con la reivindicación 9, en donde cada ranura comprende una serie de subsecciones estrechas, una serie de espacios que se dejan entre pares de sucesivos electrodos de antena en donde la ranura es más estrecha que fuera de dichas subsecciones.
11. Una antena fotoconductoras de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 8, en donde la matriz de electrodos de antena comprende una matriz bidimensional de filas y columnas de islas de material conductor sobre o en el sustrato fotoconductor, el circuito de polarización que se configura para aplicar una diferencia de tensión entre una primera tensión de las islas en una primera fila de la matriz y una segunda tensión de las islas en una segunda fila de la matriz, la primera y segunda fila se encuentran en los extremos opuestos de la matriz, en donde las islas dentro de cada columna de la matriz se separan entre sí por ranuras respectivas entre los bordes paralelos de las islas, un espacio que se deja entre los pares de islas sucesivas de la columna.
12. Una antena fotoconductoras de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el ancho de las islas en la dirección de la fila del conjunto se estrecha hacia los bordes paralelos.
13. Una antena fotoconductoras de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un lente de antena que se ubica adyacente al sustrato fotoconductor que se configura para recoger la radiación electromagnética que se genera por las corrientes eléctricas a través de los electrodos de la antena.

14. Un sistema de antena fotoconductor que comprende una antena fotoconductor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una fuente de luz láser de pulsos que se dirige al sustrato fotoconductor y que se configura para iluminar al menos una parte del sustrato fotoconductor entre los electrodos de la antena.

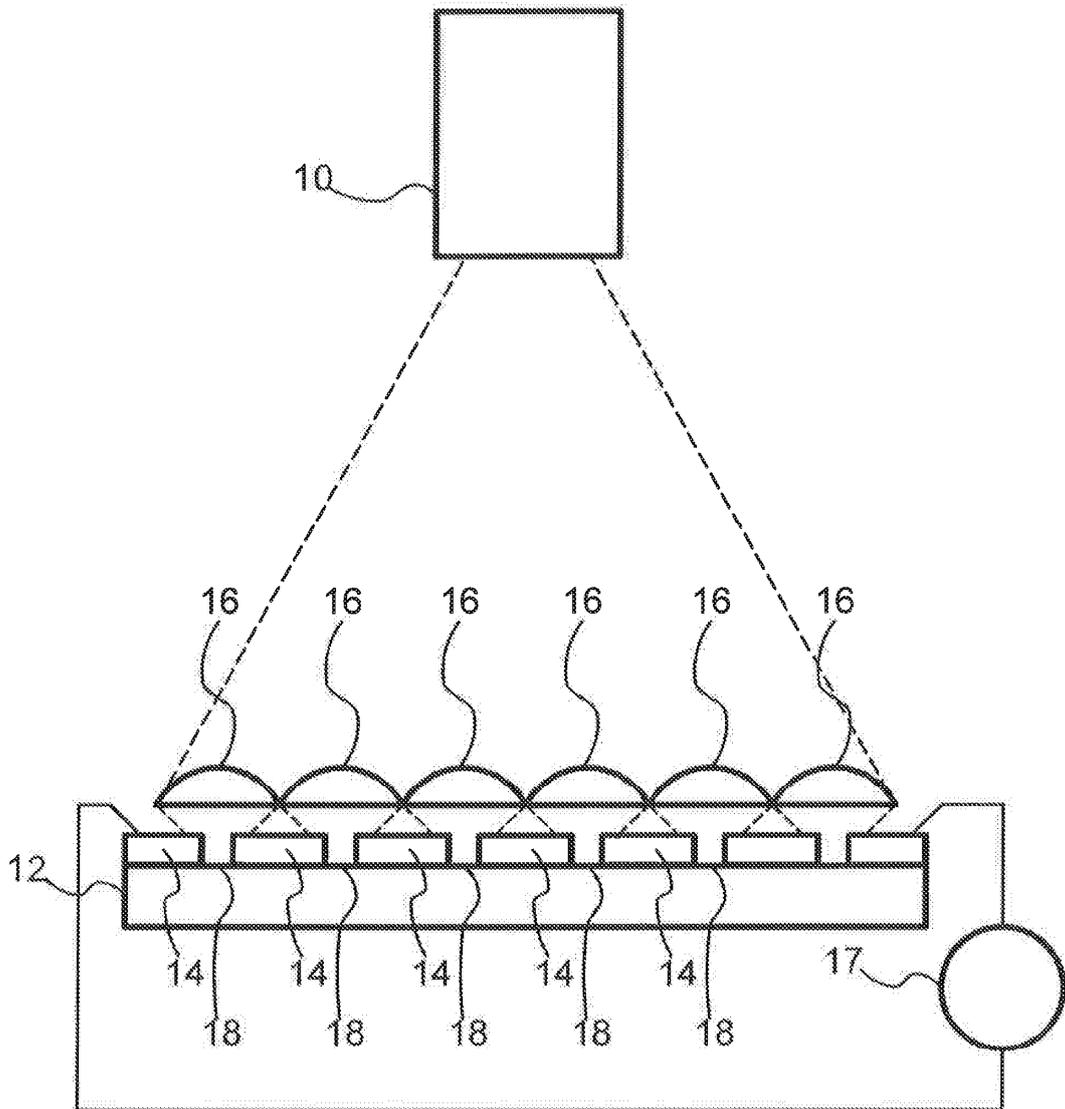
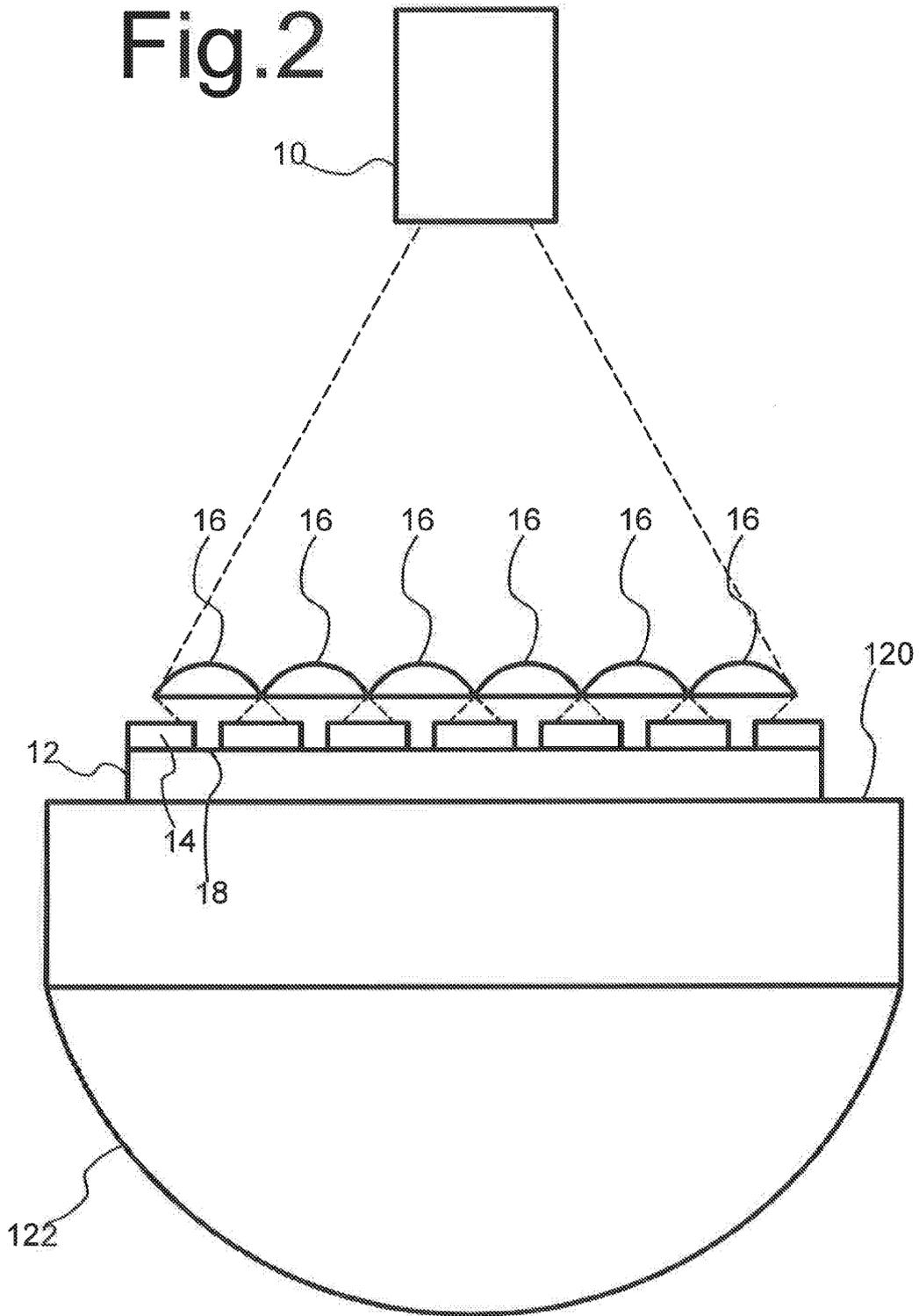


Fig. 1

Fig.2



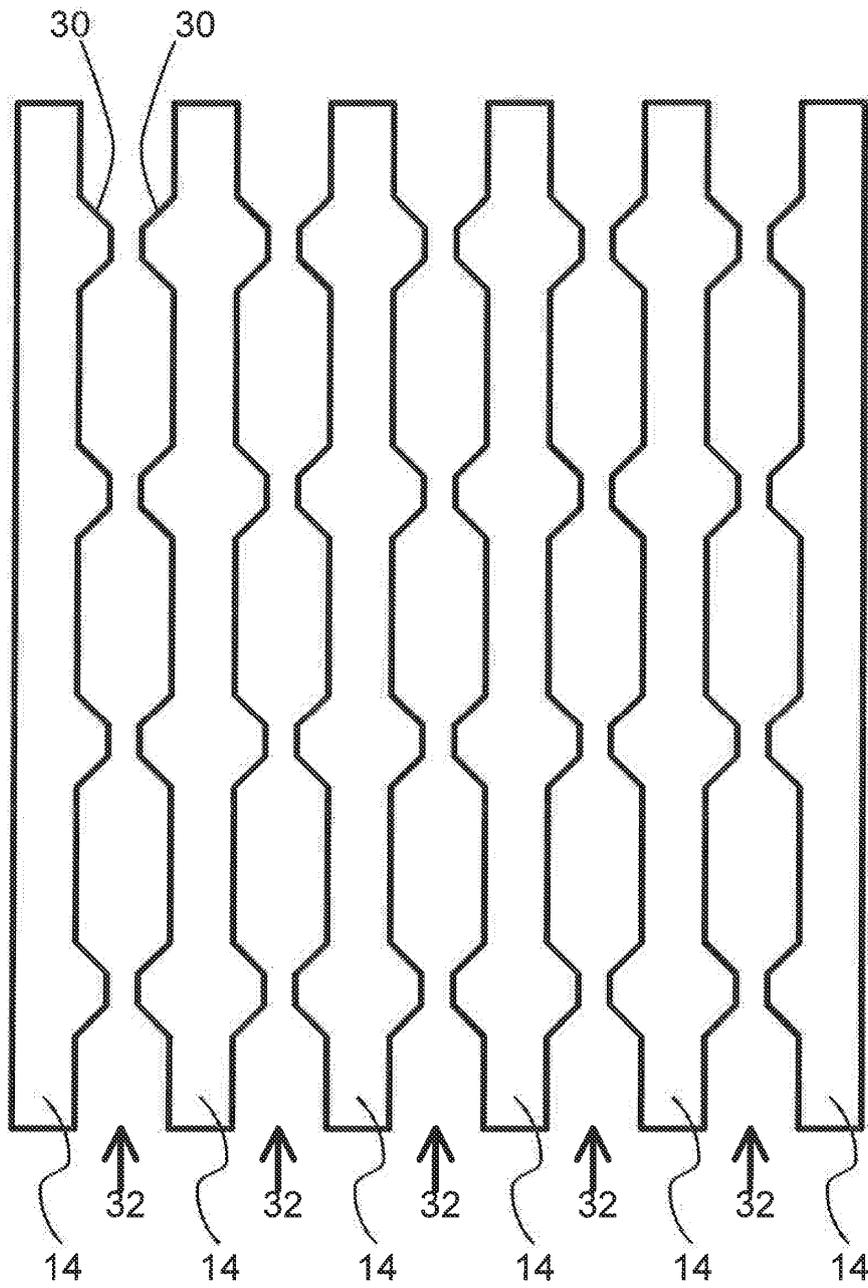


Fig. 3

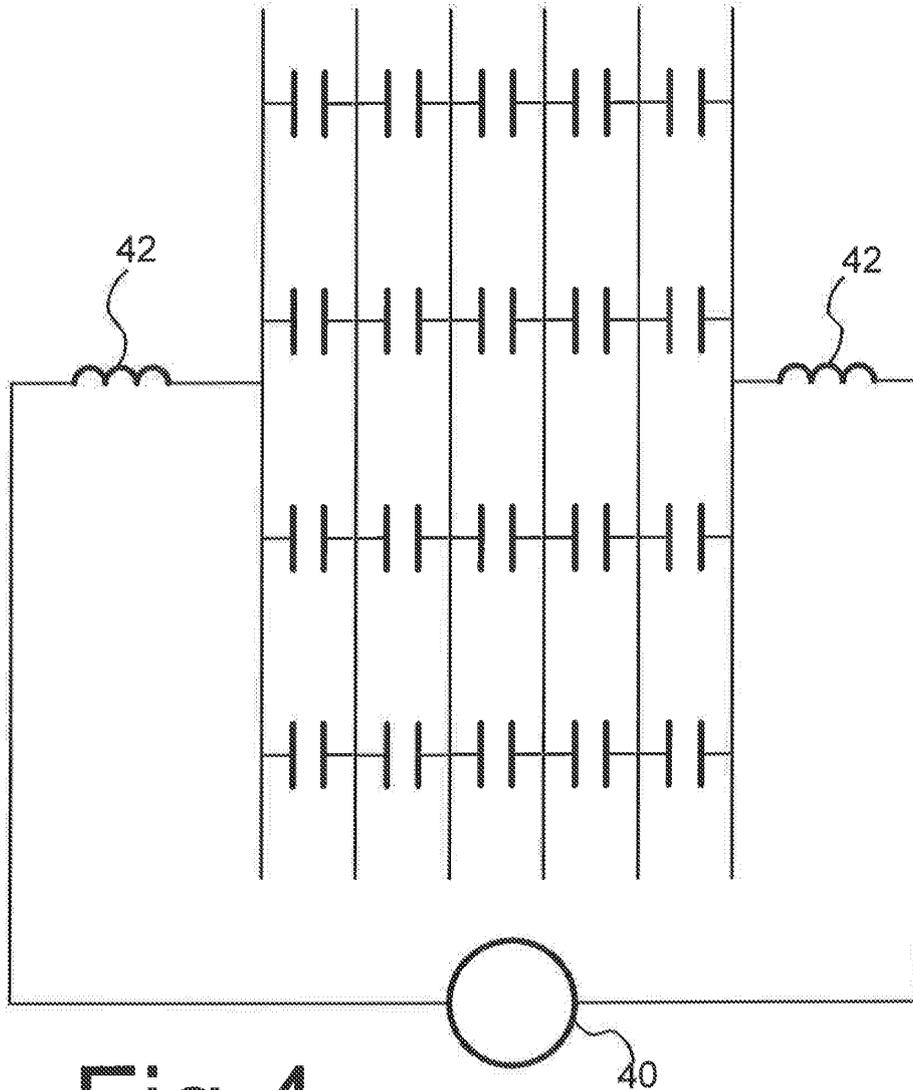


Fig.4

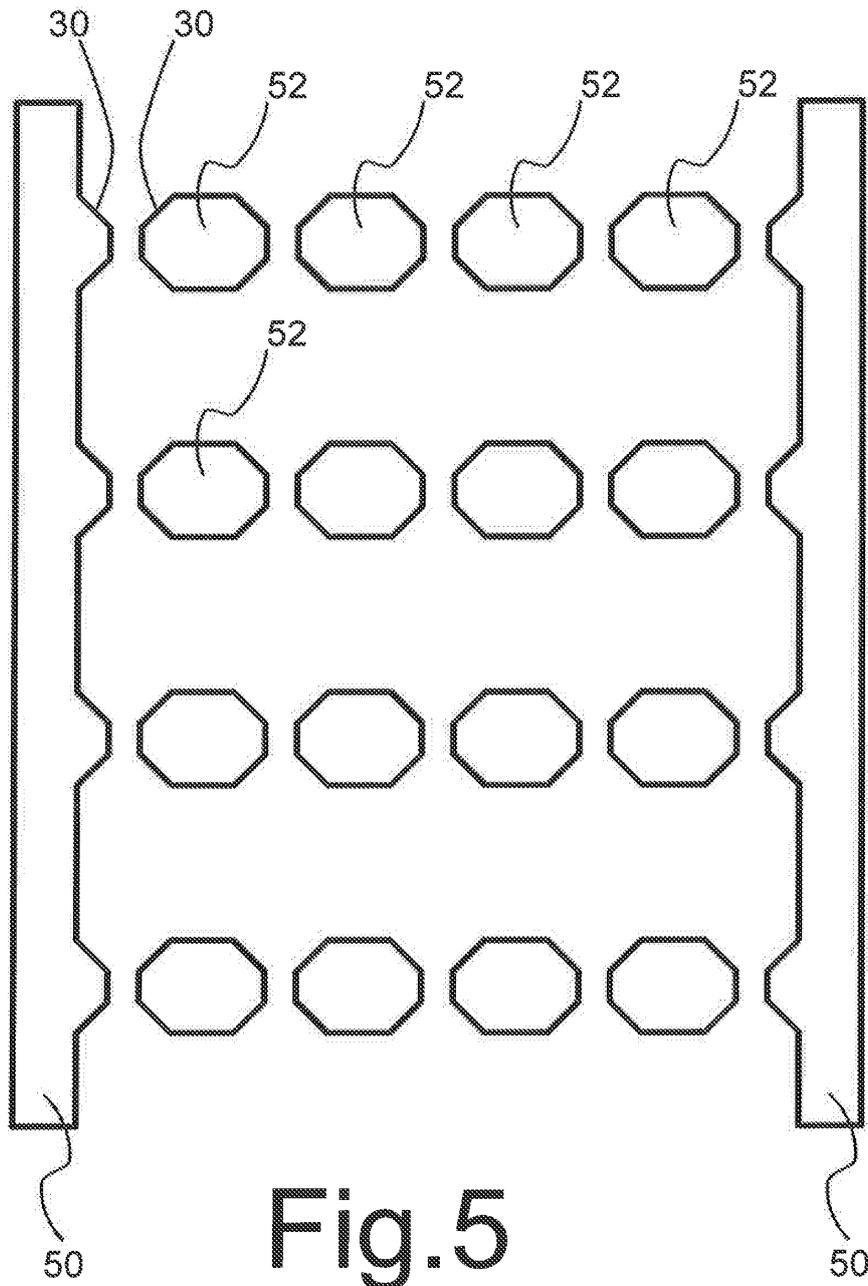


Fig.5