

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 822 288**

51 Int. Cl.:

**G02B 26/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.05.2009 PCT/DE2009/000639**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.11.2009 WO09140941**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.05.2009 E 09749483 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2020 EP 2307922**

54 Título: **Método para el control de ondas portadoras electromagnéticas de terahercios**

30 Prioridad:

**23.05.2008 DE 102008024795**

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

**30.04.2021**

73 Titular/es:

**DEUTSCHE TELEKOM AG (100.0%)  
Friedrich-Ebert-Allee 140  
53113 Bonn, DE**

72 Inventor/es:

**EINSIEDLER, HANS, JOACHIM;  
KADEL, GERHARD;  
KRAUS, JOSEF;  
MILCZEWSKY, KLAUS;  
NEUMANN, MICHAEL;  
BUSE, KARSTEN;  
BREUNIG, INGO;  
SOWADE, ROSITA;  
KIESSLING, JENS;  
KNABE, BASTIAN y  
MICHAELS, RALPH**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 822 288 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 para el control de ondas portadoras electromagnéticas de terahercios

5 La invención se refiere a un método para influir, en particular para desviar y/o enfocar, radiación electromagnética en el rango de frecuencias entre 0,1 y 10 terahercios. La invención también se refiere a un dispositivo para implementar el método.

10 Desde que se utilizaron las primeras tecnologías para la transmisión inalámbrica de datos hace unos 100 años, el ancho de banda disponible ha aumentado continuamente. Para poder satisfacer la demanda creciente, las ondas en el rango de terahercios se utilizarán en el futuro como portadoras de frecuencia portadora particularmente alta, a fin de lograr velocidades de transmisión de datos de 10 Gbit/s y más con estas ondas.

15 Dichas ondas de terahercios se pueden generar mediante circuitos electrónicos ultrarrápidos o mediante métodos ópticos. Sin embargo, dado que los métodos electrónicos están limitados en su velocidad debido a la vida útil de los electrones libres y los huecos, estos métodos solo funcionan de manera ineficiente por encima de las frecuencias de 100 GHz, si es que lo hacen. Los métodos ópticos conocidos para generar ondas de terahercios, por el contrario, hacen uso de frecuencias más altas la mayoría de las veces, que luego se reducen mediante la mezcla de frecuencias. Ahora se conocen métodos con los que se generan ondas de terahercios con alta eficiencia formando la diferencia de frecuencia entre dos ondas de luz en el rango espectral infrarrojo, visible o ultravioleta.

20 En la actualidad, sin embargo, todavía es relativamente complejo controlar las ondas de terahercios en su propagación. Los espejos y lentes necesarios para el control son de gran complejidad y sólo se pueden proporcionar a un coste correspondientemente elevado si se deben excitar electrónicamente.

25 El documento WO 2006/023195 A2 se refiere a metamateriales que se forman a partir de una pluralidad de células individuales. Al menos partes de ellas tienen una permeabilidad diferente y son de gran complejidad y sólo se pueden proporcionar a un coste correspondientemente elevado si se deben excitar electrónicamente.

30 El documento WO 2006/023195 A2 se refiere a metamateriales que se forman a partir de una pluralidad de células individuales. Al menos partes de ellas presentan una permeabilidad diferente a otras. La pluralidad de células individuales está dispuesta para proporcionar un metamaterial que presenta un gradiente a lo largo de al menos un eje.

35 El objetivo de la invención es crear un método con el que se pueda controlar la propagación de ondas de terahercios en un sistema de comunicación inalámbrica de una manera sencilla y económica. Además, un objetivo de la invención es crear un sistema para implementar el método.

40 Estos objetos se consiguen mediante el método con las características de la reivindicación 1 y el dispositivo de acuerdo con la reivindicación 5. Configuraciones ventajosas de la invención se mencionan en las reivindicaciones dependientes.

45 La idea básica esencial de la invención consiste en principio en aplicar el concepto de la holografía digital a los sistemas de comunicación inalámbrica que utilizan ondas portadoras en el rango de los terahercios. Para ello, se usa un modulador plano que presenta una disposición de una pluralidad de elementos planos activos individuales al menos en su superficie. Tal disposición debería presentar al menos una matriz de 10 x 10 elementos de superficie y en particular incluso más de 100 x 100 elementos de superficie. A este respecto, "activo" significa que con estos elementos de superficie se puede influir de forma dirigida en la radiación electromagnética en el rango de frecuencias entre 0,1 y 10 terahercios, donde la influencia se basa esencialmente en los efectos de difracción, es decir, un cambio local en la amplitud y/o fase de la onda de terahercios.

50 La matriz de los elementos de superficie ajustables individuales forma casi un holograma con el que se pueden generar frentes de onda cualesquiera por modulación de amplitud y/o fase mediante difracción de la onda incidente. Dado que el patrón de amplitud o fase en el que tiene lugar la difracción, es decir, el holograma, no se genera fotográficamente, sino digitalmente con la ayuda de métodos controlados electrónicamente, el modo de proceder de acuerdo con la invención corresponde a la "holografía digital", en la que, a diferencia de la holografía fotográfica, se pueden generar hologramas variables.

55 Para poder lograr los efectos de difracción deseados, los elementos de superficie deben presentar un tamaño correspondiente a la longitud de onda de la radiación. En particular, deberían ser menores de aproximadamente un cuarto de la longitud de onda de la onda de terahercios a influir. De este requisito se deduce que los elementos de superficie deberían tener un diámetro del orden de magnitud entre aproximadamente 5 µm y 100 µm. Un orden de magnitud preferente se sitúa en aproximadamente 10 µm. Además, una idea esencial para la invención consiste en que los elementos de superficie individuales se pueden modificar en su propiedad que influye en la radiación mediante una excitación individual por medio de un dispositivo de control correspondiente. Debido a esta excitación, los

elementos de superficie se deberían poder ajustar al menos a uno de al menos dos o también de todo un espectro de estados diferentes. A este respecto, la excitación se produce ventajosamente de forma electrónica.

5 Los efectos de difracción se pueden producir de dos formas fundamentalmente diferentes: Por un lado, la radiación puede pasar a través de los elementos de superficie del modulador ("geometría de transmisión"). Los estados de los elementos de superficie se pueden provocar luego en particular mediante cambios en el índice de refracción y/o la transparencia. Dependiendo de qué patrón de elementos de superficie se genere en el modulador, se pueden generar máximos de difracción de diferente extensión y dirección superficial y espacial.

10 Por otro lado, la radiación se puede reflejar en los elementos de superficie individuales del modulador ("geometría de reflexión"). Con esta disposición, la onda incidente también se puede modular de nuevo en fase y/o amplitud. Para la modulación de fase se puede mover hacia adelante o hacia atrás, por ejemplo, la posición del espejo local, de modo que cambie la trayectoria óptica. Los espejos también se pueden plegar para la modulación de amplitud.

15 Cuando se empuja un espejo "hacia atrás", mediante esta modulación de altura microscópica se prolonga entonces la trayectoria desde la onda incidente hasta la reflejada. De este modo se modifica la fase de la onda. La onda incidente encuentra una "profundidad" (recorrido) diferente según el lugar en el holograma. Esto conduce a una modulación de fase, por lo tanto a la difracción y finalmente a la generación de la imagen holográfica.

20 Con el tipo de modulación según la invención, la forma y la dirección de propagación de las ondas de terahercios se pueden controlar convenientemente. Así se están abriendo una pluralidad de nuevas aplicaciones para las ondas de terahercios, en particular en telecomunicaciones inalámbricas a distancias pequeñas con grandes anchos de banda de transmisión de más de 1 Gbit/s o cuando se examinan objetos para el control de calidad y seguridad.

25 Otra idea esencial de la invención consiste en la implementación técnica del método. A este respecto, según la invención, se utilizan como moduladores de luz componentes, en particular pantallas convencionales, que se usan *per se* para otras aplicaciones. Los moduladores de cristal líquido de píxeles y las disposiciones de microespejos de matriz ("conjuntos de espejos", los denominados "MEMS"- "Sistemas microelectromecánicos") se pueden usar de forma especialmente ventajosa. Finalmente, los metales no solo reflejan la luz visible particularmente bien, sino también las ondas de terahercios aquí a debate. También se pueden usar pantallas que, en lugar de con electrodos de gran superficie que absorberían completamente las ondas de terahercios, controlan los elementos de superficie individuales con cables pequeños.

35 Estos moduladores de luz se pueden usar particularmente bien para la holografía digital en el rango de frecuencias entre 0,1 y 10 THz, dado que presentan tamaños de píxel típicos de  $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$  y, por lo tanto, provocan la difracción de la radiación con longitudes de onda entre  $30\ \mu\text{m}$  y  $3000\ \mu\text{m}$ . Una onda de terahercios, que pasa a través de una pantalla con tales características o se refleja por una pantalla semejante, está sujeta a difracción. Dado que la estructura difractiva en la pantalla se puede ajustar mediante excitación individual de los píxeles, la radiación se puede dirigir o enfocar en cualquier rango de ángulo.

40 La invención está equipada con emisores y receptores con medios con los que se puede determinar la dirección óptima de la onda de terahercios emitida, respectivamente la deflexión óptima de una onda de terahercios incidente. Dichos medios se pueden comunicar, por ejemplo, con una simple transmisión de radio e informarse recíprocamente sobre las posiciones relativas respectivas.

45 Además, se puede utilizar un sensor para medir la orientación de un aparato móvil cuya pantalla se debe usar como modulador. Cuando está decidido cómo se formará de manera óptima la luz de terahercios, ya sea durante la emisión o la recepción, entonces se puede escoger un patrón de modulación adecuado accediendo a una "biblioteca" que contiene patrones estándares, que implementan, por ejemplo, rejillas o lentes de Fresnel y se imprimen por medio de la excitación en la pantalla o en una parte de la pantalla.

50 En otra aplicación en la telecomunicación, un emisor se puede equipar con un modulador holográfico digital según la invención y, mediante la generación de diferentes rejillas, enviar el haz de forma dirigida a uno o a varios receptores y, si es necesario, seguir la dirección en el caso de receptor en movimiento. En la tecnología de seguridad, con un modulador holográfico digital semejante se puede escanear una onda de terahercios sobre un objeto a examinar o, si se van a examinar objetos particularmente pequeños, para enfocarse sobre él. Para ello, en el modulador digital se representan patrones que se conocen en óptica como "lentes de Fresnel". En otra aplicación, también se puede generar una amplia dispersión de una onda de terahercios mediante patrones aleatorios a pequeña escala si se va a suministrar un rango de ángulo sólido grande con luz de terahercios.

60 La invención se explica a continuación mediante las figuras 1 a 3. Las figuras muestran:

65 La Figura 1, el esquema de un holograma en geometría de transmisión,  
la Figura 2, el esquema de un holograma en geometría de reflexión y  
la Figura 3, una pantalla como holograma.

Según la figura 1, el frente de una onda 1 de terahercios incidente incide en un modulador espacial 2 configurado como holograma. El modulador presenta una matriz de al menos 10 x 10 elementos de superficie 7 activos individuales, donde cada elemento superficial tiene un diámetro de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ . Cada elemento de superficie se excita por un dispositivo de control central no representado y asume uno de al menos dos estados conforme a la excitación.

5 La onda de terahercios 1 se difracta en el modulador 2 y se convierte en la nueva onda de terahercios 3. En este caso es una difracción de la luz de terahercios en transmisión. A este respecto se distingue entre moduladores de amplitud y fase, por un lado, y entre moduladores "delgados" y "gruesos", por otro lado, donde los moduladores "gruesos" solo difracta la luz si se cumple la condición de Bragg. En este sentido, los moduladores son gruesos si su grosor es significativamente mayor que la longitud de onda de la radiación de terahercios.

10 Según la figura 2 se produce la difracción de una onda de terahercios incidente 4 en reflexión sobre el modulador 5. La onda reflejada 6 se propaga correspondientemente en la dirección opuesta.

15 La figura 3 muestra una forma de realización preferente, en la que la pantalla 8 de un teléfono móvil 9 se usa como modulador. Por un lado, como de costumbre, se puede mostrar información sobre este. Pero adicionalmente una parte de la pantalla 8 o toda la pantalla 8 se puede utilizar para dar forma a la onda de terahercios incidente 10 mediante difracción en la geometría de transmisión para formar la onda 11, que se enfoca en un detector 13. Para ello se representa un patrón correspondiente en la pantalla 8, a fin de generar el efecto de enfoque deseado. En este caso, la pantalla reproduce la señal de THz como un holograma digital con una longitud de enfoque pequeña en el detector dentro del aparato. Una señal de THz se puede grabar y procesar con el teléfono móvil. La electrónica del teléfono móvil para excitar la pantalla forma el dispositivo de control central, que genera el patrón correspondiente en la pantalla 8. El teléfono móvil presenta las teclas correspondientes 12. Con la conmutación de los elementos de superficie de la pantalla formados por los píxeles, se genera un holograma ajustable para la radiación de terahercios.

20 Además, se puede prever un emisor 14 para ondas de terahercios en el teléfono móvil 9. Con esto, se puede generar una onda de terahercios y transmitirla a través de la difracción dirigida en la pantalla 8. La fuente puntual (onda esférica) generada en el teléfono móvil 9 se convierte en una onda plana (onda direccional) con la ayuda del holograma digital, que corre en la dirección de la estación receptora.

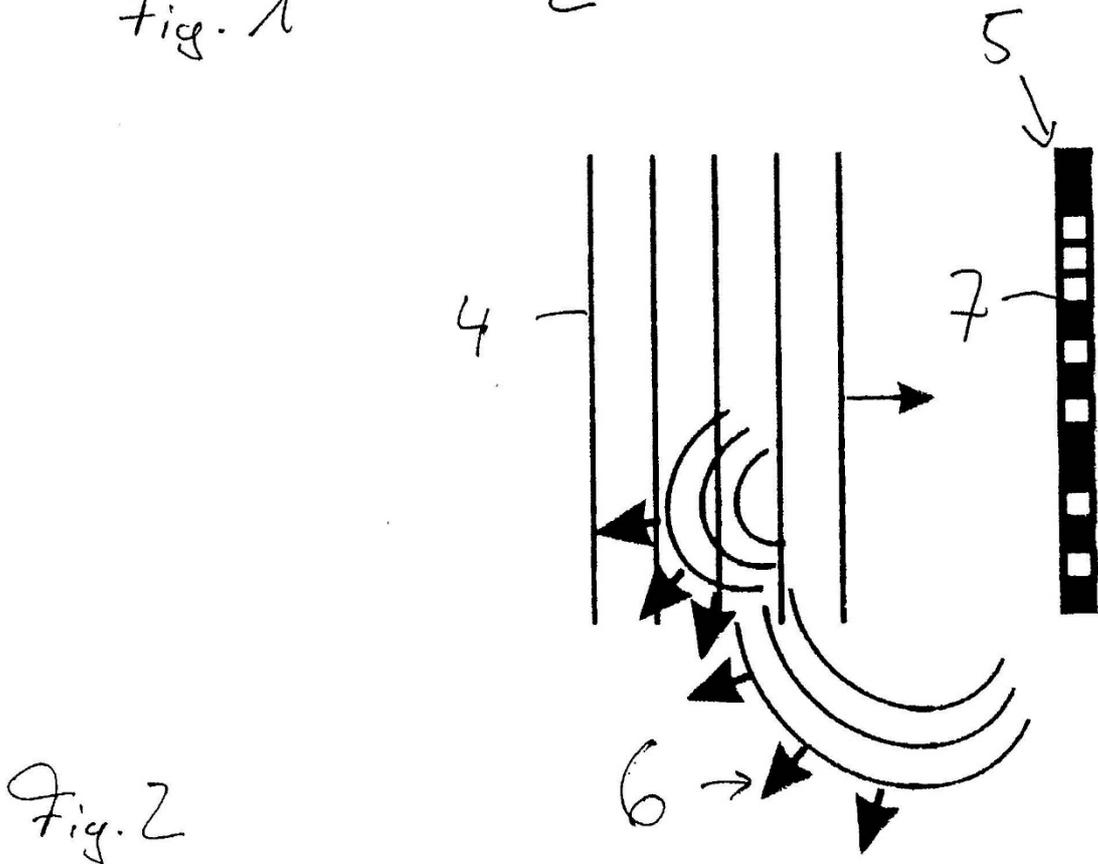
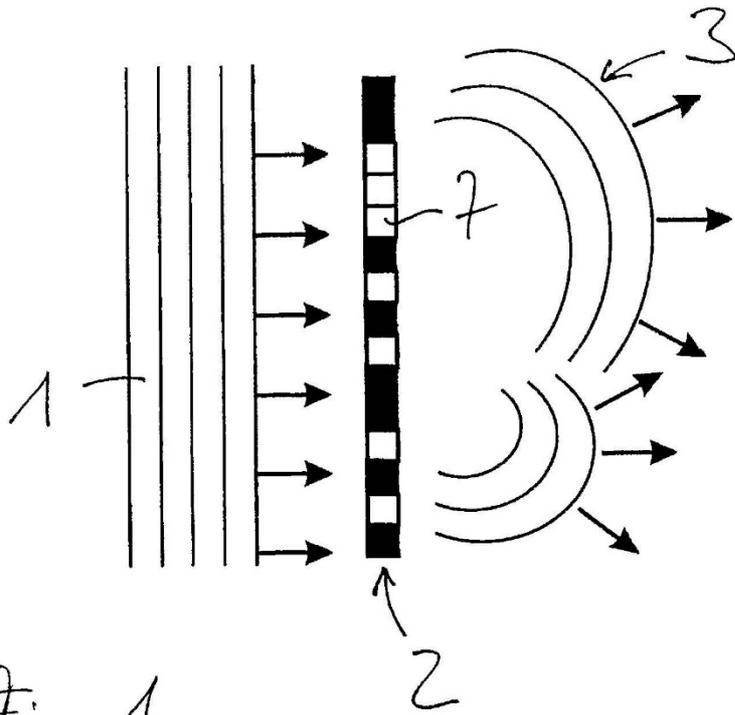
25 Dicho dispositivo se puede utilizar para transmitir datos con un gran ancho de banda a distancias cortas. Esto permite conexiones de radio dirigidas con luz de terahercios, que conducen a alcances mayores que en la radiación isotrópica. Además, con el teléfono móvil equipado de esta manera, se puede escanear un haz de terahercios sobre objetos o enfocarlo sobre puntos individuales de un objeto.

30

35

## REIVINDICACIONES

1. Método para la transmisión dirigida de radiación electromagnética (1, 4, 10) en el rango de frecuencias entre 0,1 y 10 terahercios en forma de haz de terahercios en un sistema de comunicación inalámbrica desde un emisor a un receptor, donde el haz de terahercios se dirige al receptor y se sigue dinámicamente,  
**caracterizado por**  
**que** el emisor y el receptor están equipados con medios con los que se puede determinar la dirección óptima de la onda de terahercios emitida, respectivamente la deflexión óptima de una onda de terahercios incidente, donde los medios se comunican por medio de transmisión de radio y se informan recíprocamente sobre la posición relativa respectiva,  
**que** la radiación de un modulador plano (2, 5, 8) se dirige desde el emisor al receptor y se sigue dinámicamente, donde el modulador presenta una matriz de al menos 10 x 10 elementos de superficie (7) activos individuales, donde cada elemento de superficie (7) presenta un diámetro mayor de 5  $\mu\text{m}$  y menor de 100  $\mu\text{m}$ , en particular de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ ,  
 donde cada elemento de superficie (7) se excita individualmente por un dispositivo de control central y asume uno de al menos dos estados según la excitación,  
 donde la radiación (1, 4, 10) pasa a través de los elementos de superficie (7) del modulador (2, 5, 8), donde se excita electrónicamente el índice de refracción y/o la transmisión de los elementos de superficie (7),  
 o donde la radiación (1,4,10) se refleja en los elementos de superficie (7) del modulador (2,5,8), donde se excita la posición y/o la reflectividad de los elementos de superficie (7).
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1,  
**caracterizado por**  
**que** con la conmutación de los elementos de superficie (7) del modulador (2, 5, 8) se genera un holograma ajustable para la radiación de terahercios.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2,  
**caracterizado por**  
**que** con el modulador (2, 5, 8) se escanea un haz de terahercios (1, 4, 10) sobre objetos o se enfoca en puntos individuales de un objeto.
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores,  
**caracterizado por**  
**que** se seleccionan patrones estándar, como en particular rejillas o lentes de Fresnel, se escogen de una "biblioteca" de patrones de modulación adecuados y se imprimen en el modulador (2, 5, 8), en particular en una pantalla o en una parte de una pantalla.
5. Dispositivo para realizar el método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores,  
**caracterizado por**  
 medios que están previstos en el emisor y en el detector, donde los medios están configurados para determinar la dirección óptima de la onda de terahercios emitida, respectivamente la deflexión óptima de una onda de terahercios incidente e informarse recíprocamente sobre la posición relativa respectiva a través de transmisión por radio, un modulador plano (2, 5, 8) con una matriz de al menos 10 x 10 elementos de superficie (7) activos individuales, donde cada elemento de superficie (7) presenta un diámetro mayor de 5  $\mu\text{m}$  e menor de 100  $\mu\text{m}$ , en particular aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ , y un dispositivo de control central para la excitación individual de los elementos de superficie (7) individuales, donde cada elemento de superficie (7) asume estados diferentes por excitación correspondiente.
6. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 5,  
**caracterizado por**  
**que** cada elemento de superficie (7) se puede conmutar en vaivén entre al menos dos estados definidos.
7. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 5 ó 6,  
**caracterizado por**  
**que** el modulador (2, 5, 8) compuesto de elementos de superficie (7) es un conjunto de espejos.



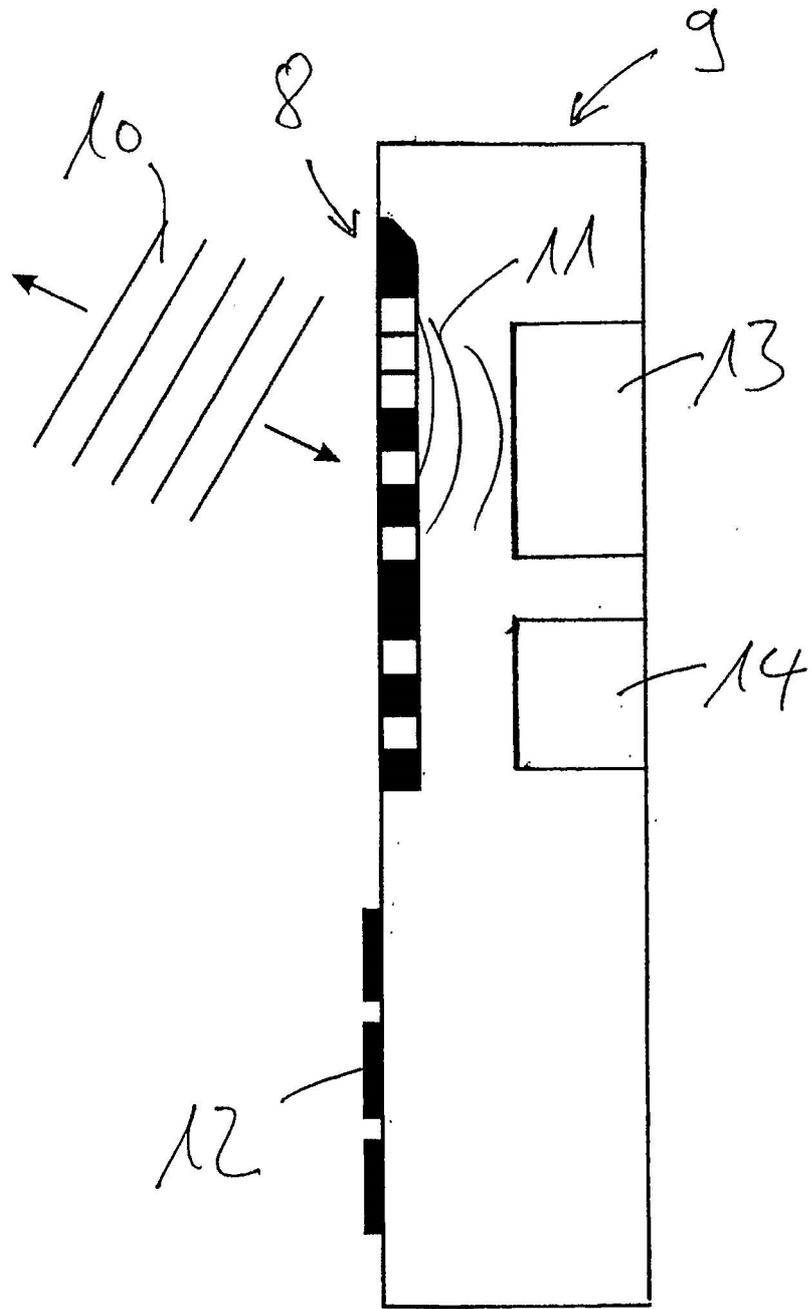


Fig. 3