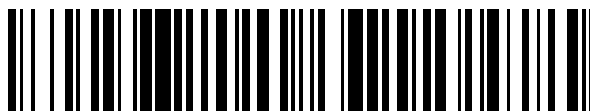


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 559 656**

51 Int. Cl.:

G01J 3/42 (2006.01)

G01J 4/00 (2006.01)

G01N 21/21 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2012** **E 12794736 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.10.2015** **EP 2791637**

54 Título: **Dispositivo de medición del estado de polarización de una onda incidente de frecuencia de 10 GHz a 30 THz**

30 Prioridad:

14.12.2011 FR 1161615

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

15.02.2016

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (CNRS) (100.0%)
3, rue Michel-Ange
75016 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**KNAP, WOJCIECH;
TEPPE, FRÉDÉRIC;
DIAKONOVA, NINA;
DIAKONOV, MICHEL;
KLIMENKO, OLEG;
GANICHEV, SERGEY y
DREXLER, CHRISTOP**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 559 656 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

Dispositivo de medición del estado de polarización de una onda incidente de frecuencia de 10 GHz a 30 THz.

5 La invención se refiere a un dispositivo de medición del estado de polarización de una onda incidente de frecuencia superior a 10 GHz.

10 Unas ondas de este tipo se denominan también ondas sub-terahercio o terahercio (sub-THz o THz) o también ondas milimétricas y submilimétricas. El intervalo de frecuencias de las ondas en cuestión está dividido tradicionalmente en tres partes que se sitúan respectivamente de 10 a 100 GHz, de 100 GHz a 1 THz y de 1 THz a 6 THz para la última. En el resto de este documento los tres intervalos de frecuencias enunciados más arriba se designarán de manera general bajo el único término THz.

15 La medición del estado de polarización de la luz y particularmente su elipticidad transmitida, reflejada, o dispersada representa una técnica de análisis potente de la anisotropía de algunos materiales o de los diferentes estados de la materia tales como los plasmas, los gases, los sólidos macizos o de superficies, así como tejidos biológicos. Algunos ejemplos representativos son la polarimetría en tokamak para medir unos campos eléctricos y magnéticos en unos gases ionizados así como la densidad del plasma, el seguimiento y el control del crecimiento de los materiales, la espectroscopia por dicroísmo circular y la dispersión rotatoria óptica de proteínas y de moléculas. Lo mismo es aplicable para las mediciones sin contacto y no destructivas de superficies y de películas ultra-finas, o también el análisis de gases y de los constituyentes de aerosol en la atmósfera terrestre por la teledetección óptica sensible a la polarización.

20 Uno de los métodos reconocidos que permite obtener unas informaciones en cuanto al estado de polarización de la luz, se basa en la medición de una diferencia de caminos ópticos. En el caso en el que es necesario medir la elipticidad dinámica de la luz polarizada, entonces la elipticidad resuelta en el tiempo puede ser medida por transmisión de la luz elíptica a través de un prisma analizador en rotación rápida, colocado frente a un fotodetector. Es posible asimismo utilizar una técnica de bomba-sonda.

25 Se utilizan varios tipos de detectores sensibles a la polarización en polarimetría THz como los fotoconductores multi-contactos. Pero también se han propuesto en las publicaciones [1], [2] y [3] varios tipos de efectos que causan una elipticidad, tales como: el efecto fotogalvánico circular en la publicación [4], el efecto galvánico dependiente del espín en la publicación [5], el efecto de arrastre de fotones circular en la publicación [6] y el efecto Hall alternativo circular en la publicación [7]. Sin embargo, la polarización de la luz transmitida o reflejada es generalmente baja, y la espectroscopia THz polarizada carece todavía de detectores eficaces.

30 Recientemente, ha aparecido una nueva clase de detectores de radiación THz. Según la propuesta realizada en la publicación [8], se ha demostrado la detección de radiación THz por unos transistores de efecto de campo (FET).

35 Se ha demostrado que los FET pueden funcionar como detectores resonantes de tensión en las publicaciones [9], [10], [11] y [12], o como detectores de banda ancha o denominados no resonantes en las publicaciones [13], [14], [15] y [16].

40 El documento [17] se refiere a un detector sensible a la polarización lineal de una onda de 100 GHz por unos FET, en el que se controla la señal de detección en función de la tensión entre la puerta y la fuente y en función de un ángulo entre un eje de simetría del transistor y la dirección de polarización lineal de la onda.

45 El documento [18] describe un detector sensible a las ondas THz, que comprende un FET de acoplamiento por antena. Este dispositivo funciona acoplando de manera capacitiva las ondas terahercio en el transistor y anotando las modificaciones de la corriente entre la fuente y el drenaje.

50 Sin embargo, este documento indica que este detector, a temperatura ambiente, responde solamente a las ondas que tienen una polarización ortogonal con respecto a lo que se esperaba por el diseño de la antena, de modo que el detector es sensible sólo a las polarizaciones verticales.

55 El objetivo de la invención es obtener un dispositivo de medición, que sea sensible a la elipticidad de la onda incidente.

60 La invención tiene como objetivo obtener un dispositivo de medición del estado de polarización circular de una onda incidente de frecuencia que va de 10 GHz a 30 THz, que permita efectuar una medición con resolución temporal de algunos picosegundos a temperatura ambiente de este estado de polarización, y que sea fácil de realizar y de bajo coste. En particular, el dispositivo debe permitir detectar la elipticidad del estado de polarización de la onda.

65 Con este fin, un primer objeto de la invención es un dispositivo de medición del estado de polarización de una onda incidente de frecuencia superior a 10 GHz e inferior a 30 THz, comprendiendo el dispositivo:

- por lo menos un transistor de efecto de campo que comprende por lo menos un terminal de fuente, por lo menos un terminal de drenaje y por lo menos un terminal de puerta,
- una antena de recepción de la onda incidente de frecuencia superior a 10 GHz e inferior a 30 THz, conectada por lo menos al terminal de puerta,

estando el terminal de fuente y el terminal de drenaje unidos a un circuito para la medición de una señal eléctrica de detección presente entre el terminal de fuente y el terminal de drenaje,

caracterizado por que

la antena de recepción de la onda incidente de frecuencia superior a 10 GHz e inferior a 30 THz es bidireccional, está prevista en el exterior del transistor de efecto de campo, es distinta de los terminales del transistor y comprende una primera parte de antena unida al terminal de fuente, una segunda parte de antena unida al terminal de drenaje y una tercera parte de antena bidireccional unida al terminal de puerta,

estando la primera parte de antena y la tercera parte de antena bidireccional dispuestas para detectar una primera componente de polarización de la onda, colineal a una primera dirección determinada y que provoca la aparición en el transistor entre el terminal de fuente y el terminal de puerta de una primera tensión alternativa de detección del primer componente según la primera dirección,

estando la segunda parte de antena y la tercera parte de antena bidireccional dispuestas para detectar una segunda componente de polarización de la onda, colineal a una segunda dirección determinada y que provoca la aparición en el transistor entre el terminal de drenaje y el terminal de puerta de una segunda tensión alternativa de detección del segundo componente según la segunda dirección,

siendo la primera dirección no paralela a la segunda dirección y no estando confundida con la segunda dirección,

estando el transistor dispuesto para generar, como señal eléctrica de detección entre el terminal de fuente y el terminal de drenaje, una tensión continua de detección de la cual una parte está determinada por el estado de polarización elíptica de la onda por interferencia en el transistor entre la primera tensión alternativa de detección y la segunda tensión alternativa de detección, estando el circuito previsto para analizar el estado de polarización elíptica de la onda por medición de la señal eléctrica de detección entre el terminal de fuente y el terminal de drenaje.

Según un modo de realización de la invención, el transistor está dispuesto para tener una longitud de puerta, tomada en la dirección que va desde la fuente al drenaje, inferior o igual a dos veces la longitud de amortiguación característica de la primera tensión alternativa y de la segunda tensión alternativa en el canal del transistor.

Según un modo de realización de la invención, el transistor está dispuesto para tener una longitud de puerta, tomada en la dirección que va desde la fuente al drenaje, inferior o igual a dos veces una longitud de amortiguación característica igual a

$$L = \sqrt{\frac{\mu |U|}{\omega}}$$

en la que ω es la pulsación de la onda, μ es la movilidad de los electrones en el canal del transistor, U es la separación de tensión en el umbral, $U = U_t - U_{gs}$ para $U_{gs} > U_t$ y $U = \eta kT/e$ para $U_{gs} \leq U_t$, donde U_t es la tensión umbral del transistor y U_{gs} es la tensión continua de polarización aplicada entre el terminal de puerta y el terminal de fuente, η es el coeficiente de idealidad, T es la temperatura, k es la constante de Boltzmann.

Según un modo de realización de la invención, la primera parte de antena comprende un primer brazo de antena y la tercera parte de antena bidireccional comprende un tercer brazo de antena, estando el primer brazo de antena y el tercer brazo de antena dirigidos según la primera dirección determinada, siendo opuestos el uno del otro para la detección de la primera componente de polarización de la onda, colineal a la primera dirección,

comprendiendo la segunda parte de antena un segundo brazo de antena y comprendiendo la tercera parte de antena bidireccional un cuarto brazo de antena, estando el segundo brazo de antena y el cuarto brazo de antena dirigidos según la segunda dirección determinada, siendo opuestos el uno del otro para la detección de la segunda componente de polarización de la onda, colineal a la segunda dirección.

Según un modo de realización de la invención, la primera dirección y la segunda dirección son perpendiculares.

Según un modo de realización de la invención, el primer brazo es simétrico con respecto a la primera dirección.

Según un modo de realización de la invención, el segundo brazo es simétrico con respecto a la primera dirección.

Según un modo de realización de la invención, el tercer brazo es simétrico con respecto a la segunda dirección.

5 Según un modo de realización de la invención, el cuarto brazo es simétrico con respecto a la segunda dirección.

Según un modo de realización de la invención, el primer brazo y/o el segundo brazo y/o el tercer brazo y/o el cuarto brazo son de forma triangular.

10 Según un modo de realización de la invención, el primer brazo y/o el segundo brazo y/o el tercer brazo y/o el cuarto brazo son cada uno planares.

Según un modo de realización de la invención, el dispositivo comprende además por lo menos una lámina, siendo la lámina de un cuarto de onda con respecto a la frecuencia de la onda incidente, siendo la lámina puesta en rotación por un dispositivo rotativo (ROT) alrededor de un eje (AX) de rotación azimutal, siendo la lámina atravesada por esta onda incidente para transmitirla a la antena (3).

Según un modo de realización de la invención, se prevé un dispositivo para determinar el ángulo (ANG) de rotación de la lámina (LAM) alrededor del eje (AX) de rotación en función del tiempo, estando el circuito unido a un dispositivo (COMP) de tratamiento de datos que permite una medición diferencial del estado de polarización elíptica en función del ángulo (ANG) de rotación y en función de la señal eléctrica (ΔU) de detección.

La invención se entenderá mejor con la lectura de la descripción siguiente, dada únicamente a título de ejemplo no limitativo en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 25 - la figura 1 es una vista esquemática de un ejemplo de realización del dispositivo de medición según la invención,
- la figura 2 es un ejemplo de utilización del dispositivo en un esquema de medición,
- 30 - la figura 2A es una vista esquemática del perfil de tensión alternativa en el canal bajo la puerta del transistor del dispositivo de medición según la invención, en el caso de una puerta larga,
- la figura 2B es una vista esquemática del perfil en tensión del canal bajo la puerta del transistor del dispositivo de medición según la invención, en el caso de una puerta corta,
- 35 - la figura 3 es un esquema de un ejemplo de dispositivo de medición según la invención, previsto para extraer una parte de la tensión continua debida a la elipticidad de la onda,
- 40 - la figura 4 representa un ejemplo de polarización elíptica que puede ser detectada por el dispositivo según la invención,
- la figura 5 representa un dispositivo que no permite medir el estado de polarización pero que permite sólo detectar una onda polarizada linealmente,

45 En la figura 1, se representa un dispositivo de medición del estado de polarización de una onda o emisión de rayos (o radiación, siendo estos términos empleados indistintamente a continuación) THz o submilimétrico, de frecuencia comprendida entre 10 GHz y 30 THz, siendo esta onda denominada THz a continuación.

50 El dispositivo 1 de medición comprende por lo menos un transistor con efecto de campo 2 (denominado FET) que comprende un terminal 21 de fuente, un terminal 22 de drenaje y un terminal 23 de puerta. Estos terminales 21, 22 y 23 permiten la conexión eléctrica del FET 2 a uno o varios circuito(s) eléctrico(s) exterior(es).

Una antena 3 bidireccional de recepción de la onda THz incidente de frecuencia superior a 10 GHz e inferior a 30 THz está prevista en el dispositivo 1. La antena está destinada a separar las dos componentes de polarización de la onda incidente y a acoplar una componente con el canal de transistor del lado fuente y otra componente con el canal del lado drenaje. Esta antena 3 está unida al terminal 21 de fuente, al terminal 22 de drenaje y al terminal 23 de puerta. La antena 3 comprende una primera parte 31 de antena unida al terminal 21 de fuente, una segunda parte 32 de antena unida al terminal 22 de drenaje y una tercera parte 33 de antena bidireccional unida al terminal 23 de puerta. La antena 3 está prevista en el exterior del transistor FET 2. La antena 3 es distinta de los terminales 21, 22, 23 del transistor 2.

La primera parte 31 de antena y la tercera parte 33 de antena bidireccional están dispuestas para detectar una primera componente de polarización de la onda, colineal a una primera dirección determinada X. Esta primera componente de polarización de la onda incidente provoca la aparición en el transistor 2, entre el terminal 21 de fuente y el terminal 23 de puerta, de una primera tensión alternativa U_s de detección de la primera componente

según la primera dirección X.

La segunda parte 32 de antena y la tercera parte 33 de antena bidireccional están dispuestas para detectar una segunda componente de polarización de la onda, colineal a una segunda dirección determinada Y. Esta segunda componente de polarización de la onda provoca la aparición en el transistor 2, entre el terminal 22 de drenaje y el terminal 23 de puerta, de una segunda tensión alternativa Ud de detección de la segunda componente según la segunda dirección Y.

La primera dirección X es no paralela a la segunda dirección Y, y no está confundida con esta segunda dirección Y, y es por ejemplo secante de la segunda dirección Y.

El terminal 21 de fuente y el terminal 22 de drenaje están unidos a un circuito 5 para la medición de una señal eléctrica ΔU de detección presente entre el terminal 21 de fuente y el terminal 22 de drenaje.

El transistor 2 está dispuesto para generar, como señal eléctrica ΔU de detección entre el terminal 21 de fuente y el terminal 22 de drenaje, una tensión continua ΔU de detección del estado de polarización elíptica de la onda por interferencia en el transistor 2 entre la primera tensión alternativa Us de detección y la segunda tensión alternativa Ud de detección. El circuito 5 es un circuito de registro de la tensión eléctrica ΔU medida entre el terminal 21 de fuente y el terminal 22 de drenaje.

El circuito 5 está previsto para medir la señal eléctrica ΔU de detección entre el terminal 21 de fuente y el terminal 22 de drenaje. La tensión continua ΔU contiene la información sobre el estado de polarización elíptica de la onda. De este modo, la señal eléctrica ΔU de detección entre el terminal 21 de fuente y el terminal 22 de drenaje es una tensión continua (ΔU) de detección, de la cual una parte está determinada por el estado de polarización elíptica de la onda por interferencia en el transistor 2 entre la primera tensión alternativa Us de detección y la segunda tensión alternativa Ud de detección.

La polarización elíptica se describe como la superposición de dos componentes lineales que tienen unos ejes de polarización diferentes.

Gracias a la invención, un transistor 2 con efecto de campo se puede utilizar como un medidor de grado de polarización circular o elíptica de radiación THz.

La sensibilidad de los FET es particularmente elevada (5 kV/W) y su potencia equivalente de ruido (NEP) es del orden de $10^{-10} \text{ W/Hz}^{0.5}$.

Se describe a continuación un modo de realización de la antena 3.

La primera parte 31 de antena comprende un primer brazo 41a de antena.

La tercera parte 33 de antena bidireccional comprende un tercer brazo 41b de antena.

El primer brazo 41a de antena y el tercer brazo 41b de antena están dirigidos según una primera dirección determinada X, y el primer brazo 41 de antena está en la parte opuesta con respecto al tercer brazo 41b de antena, para la recepción de la primera componente de polarización de la onda incidente, colineal a la primera dirección X.

La segunda parte 32 de antena comprende un segundo brazo 42a de antena.

La tercera parte 33 de antena bidireccional comprende un cuarto brazo 42b de antena.

El segundo brazo 42a de antena y el cuarto brazo 42b de antena están dirigidos según la segunda dirección determinada Y, y el segundo brazo 42a de antena está en la parte opuesta con respecto al cuarto brazo 42b de antena, para la recepción de la segunda componente de polarización de la onda incidente, colineal a la segunda dirección Y.

La primera parte 31 de antena y la tercera parte 33 de antena bidireccional están dispuestas para definir un primer eje preferencial de polarización de radiación que corresponde a la dirección que pasa por los brazos 41a y 41b de la antena. Los brazos de antena 41a, 41b están, por ejemplo, dirigidos según la misma primera dirección determinada X. El primer eje preferencial de polarización de radiación es, por ejemplo, la primera dirección X.

La segunda parte 32 de antena y la tercera parte 33 de antena bidireccional están dispuestas para definir un segundo eje preferencial de polarización de radiación que corresponde a la dirección que pasa por los brazos 42a y 42b de la antena. Los dos brazos de antena 42a, 42b están, por ejemplo, dirigidos según la misma segunda dirección determinada Y. El segundo eje preferencial de polarización de radiación es, por ejemplo, la segunda dirección Y.

Los brazos 41a, 41b, 42a, 42b son, por ejemplo, metalizados.

La primera dirección X y la segunda dirección Y son, por ejemplo, perpendiculares.

5 En un modo de realización, el primer brazo 41 es simétrico con respecto a la primera dirección X.

En un modo de realización, el segundo brazo 41b es simétrico con respecto a la primera dirección X.

En un modo de realización, el tercer brazo 42a es simétrico con respecto a la segunda dirección Y.

10

En un modo de realización, el cuarto brazo 42b es simétrico con respecto a la segunda dirección Y.

En un modo de realización, el primer brazo 41a y/o el segundo brazo 41b y/o el tercer brazo 42a y/o el cuarto brazo 42b son de forma triangular, por ejemplo isósceles por simetría con respecto a la dirección X para 41a y 41b y por simetría con respecto a la dirección Y para 42a y 42b.

15

En un modo de realización, el primer brazo 41a y/o el segundo brazo 41b y/o el tercer brazo 42a y/o el cuarto brazo 42b son cada uno de forma plana.

20

En el modo de realización representado en la figura 1, al mismo tiempo los brazos 41a y 41b son simétricos con respecto a la primera dirección X, los brazos 42a, 42b son simétricos con respecto a la segunda dirección Y, los brazos 41a, 41b, 42a, 42b son cada uno triangulares y de forma plana, por ejemplo isósceles en un mismo plano.

Los brazos 41a, 41b, 42a, 42b de antena ocupan, por ejemplo, un sector angular centrado en la dirección X o Y.

25

Los brazos 41a, 41b de antena ocupan, por ejemplo, cada uno un sector angular que tiene una abertura total comprendida entre 0° y 180°, y en particular comprendida entre 20° y 40°.

El tamaño de las antenas está adaptado a la longitud de onda de la onda incidente, y es del orden de 300 μm a 3 mm para cada parte 31, 32, 33.

30

Por ejemplo, en la figura 1, los brazos triangulares 41a, 41b tienen una mediatriz de una longitud de 500 μm según la dirección X y los brazos triangulares 42a, 42b tienen una mediatriz de una longitud de 500 μm según la dirección Y, los brazos 41, 41b de antena ocupan cada uno un sector angular que tiene una abertura total igual a 30°, los brazos 42a, 42b de antena ocupan cada uno un sector angular que tiene una abertura total igual a 30°.

35

La bidireccionalidad de la tercera parte 33 de antena es tal que permite que las primera y tercera partes de antena reciban la primera componente de polarización de la onda incidente, y que las segunda y tercera partes de antena reciban la otra segunda componente de polarización de la onda incidente, que es diferente de la primera. De este modo, la tercera parte de la antena puede componerse de un brazo, o de varios brazos conectados entre sí por unas hebras, o también de manera diferente.

40

En las figuras, G designa la puerta del FET 2, S designa la fuente del FET 2 y D designa el drenaje del FET 2, comprendiendo un transistor de este tipo con efecto de campo 2 de manera conocida bajo la puerta G un canal entre la fuente S y el drenaje D.

45

En el modo de realización representado, que resulta ser no limitativo, la tercera parte 3 de antena bidireccional comprende una tercera hebra 331 que sirve para la conexión del brazo 41b a la puerta y una cuarta hebra 332 que sirve para la conexión del brazo 42b al terminal 23 de puerta. La tercera hebra 331 está, por ejemplo, dirigida según la primera dirección X. La cuarta hebra 332 está, por ejemplo, dirigida según la segunda dirección Y. Las hebras 331 y 332 están, por ejemplo, conectadas entre sí y están también conectadas al terminal 23 de puerta por una rama 34 de conexión.

50

En el modo de realización no limitativo representado, la hebra 331 está dirigida según el brazo 41b. En el modo de realización representado, la segunda hebra está dirigida según el brazo 42b.

55

Está prevista una primera hebra 311 de conexión del primer brazo 41a de antena al terminal 21 de fuente.

Está prevista una segunda hebra 321 de conexión del segundo brazo 42a de antena al terminal 22 de fuente.

60

En el modo de realización no limitativo representado, la tercera hebra 311 es perpendicular a la cuarta hebra 332.

La antena 3 puede estar dividida en dos partes: la parte fuente y la parte de drenaje. Los ejes de polarización X e Y son, por ejemplo, perpendiculares entre sí, lo que permite por lo tanto la detección potencial de una radiación polarizada elíptica o circularmente. En este caso, una componente de la polarización de la radiación incidente excita el plasma de electrones en el lado fuente, y la otra componente en el lado drenaje. Cuando la puerta es

65

suficientemente corta, las zonas de excitación del plasma en el lado drenaje y en el lado fuente se solapan en el canal. De ello resulta una tensión ΔU constante drenaje-fuente, de la cual una parte se debe a la interferencia entre las dos excitaciones. La amplitud de esta interferencia aumenta cuando la polarización de la onda se vuelve circular. En el caso de una polarización lineal, la amplitud de la tensión debida a la interferencia es igual a cero.

Cuando la puerta no es suficientemente corta, las excitaciones de plasma se amortiguan sin haber interferido y la tensión ΔU constante drenaje-fuente no contiene información sobre la elipticidad de la luz.

En un modo de realización, el transistor FER 2 puede ser, por ejemplo, del tipo MOSFET (del inglés: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor por transistor con efecto de campo metal/óxido/semiconductor) para el cual la longitud L_g de la puerta es igual a la longitud del canal (longitud desde la fuente al drenaje), o de tipo HEMT (del inglés: High Electron Mobility Transistor por transistor con gran movilidad de electrones) para el cual la longitud L_g de la puerta es inferior a la longitud del canal (longitud desde la fuente al drenaje).

Según un modo de realización de la invención, el transistor 2 está dispuesto para tener una longitud L_g de puerta G, tomada en la dirección que va desde la fuente S al drenaje D, inferior o igual a dos veces la longitud L de amortiguación característica de la primera tensión alternativa U_s y de la segunda tensión alternativa U_d en el canal del transistor 2, es decir

$$L_g \leq 2L$$

Este modo de realización se ilustra en la figura 2B.

Según un modo de realización de la invención, el transistor 2 está dispuesto para tener una longitud L_g de puerta G, tomada en la dirección que va desde la fuente S al drenaje D, inferior o igual a dos veces una longitud L de amortiguación característica igual a

$$L = \sqrt{\frac{\mu |U|}{\omega}}$$

en la que ω es la pulsación de la onda, μ es la movilidad de los electrones en el canal del transistor 2, U es la separación de tensión en el umbral, $U = U_t - U_{gs}$ para $U_{gs} > U_t$ y $U = \eta kT/e$ para $U_{gs} \leq U_t$, donde U_t es la tensión umbral del transistor 2 y U_{gs} es la tensión continua de polarización aplicada entre el terminal de puerta y el terminal de fuente, η es el coeficiente de idealidad, T es la temperatura, k es la constante de Boltzmann. Para una frecuencia incidente de 1 THz, una movilidad μ de 300 cm²/V·s y una tensión U de separación en el umbral de 100 mV, la longitud L de amortiguación característica es de 21,8 nm. La longitud L_g de puerta debe ser por lo tanto inferior o igual a 43,6 nm.

Para una frecuencia de 300 GHz y los otros mismos valores de tensión U de excursión y de movilidad μ , la longitud L de amortiguación característica es de 39,8 nm. La longitud L_g de puerta debe por lo tanto ser inferior o igual a 79,6 nm.

Para una frecuencia de 300 GHz, una movilidad electrónica μ de 2000 cm²/V·s y una tensión U de excursión de 100 mV, la longitud L de amortiguación es de 102,8 nm; la longitud de puerta debe ser por lo tanto inferior o igual a 205,6 nm.

Por ejemplo, para un transistor 2 MOSFET, la longitud del canal es 100 nm, al igual que para la longitud desde el drenaje a la fuente.

El dispositivo según la figura 1 permite la detección de la polarización circular o elíptica de la radiación. La longitud del canal del transistor 2 es bastante corta para que antes de ser atenuada, la perturbación del gas de electrones en el lado drenaje se mezcle con la perturbación del lado fuente. X e Y son los ejes de polarización de las dos partes de la antena que permite la excitación del lado fuente y del lado drenaje, respectivamente.

En las figuras 2A y 2B, la longitud de la puerta G y del canal situado bajo la puerta G está representada según el eje longitudinal x' que va entre el drenaje D y la fuente S. En la figura 2A, la longitud de puerta (L_g) es grande ($L_g > 2L$) siendo L la longitud de amortiguación de las ondas de plasma. En la figura 2B, la longitud de la puerta es pequeña ($2L > L_g$).

La figura 2A describe el caso según el cual el canal es más largo que dos veces la longitud de amortiguación. Las dos perturbaciones del gas de electrones no se superponen en el medio del canal, por lo tanto no hay mezcla de las dos señales y el transistor no puede por lo tanto detectar la polarización elíptica. Sólo la polarización lineal puede ser detectada. Por ejemplo, cuando el eje de polarización coincide (para simplificar la demostración) con la dirección X, se crea entonces una tensión alternativa U_s sólo entre el terminal de fuente y el terminal de la puerta, y la tensión

alternativa U_d entre el terminal de drenaje y el terminal de la puerta es igual a cero. La señal ΔU de detección, denominada $\Delta U_{\text{linealX}}$, está determinada por la tensión continua entre el terminal de fuente y el terminal de puerta. Si el eje de polarización coincide con la dirección Y, entonces se crea sólo una tensión alternativa U_d entre el terminal de drenaje y el terminal de la puerta, y una tensión alternativa U_s entre el terminal de fuente y el terminal de puerta es igual a cero. La señal ΔU de detección, $\Delta U_{\text{linealY}}$, es entonces de signo opuesto a la de $\Delta U_{\text{linealX}}$, lo que hace del transistor con antenas un dispositivo también sensible al estado de polarización lineal.

La figura 2B corresponde al caso según el cual el canal es más corto o de dimensión igual a dos veces la longitud de amortiguación. Dicho de otra manera, las dos perturbaciones del lado fuente y drenaje no están completamente amortiguadas al llegar al medio del canal y se mezclan por lo tanto permitiendo la detección de la polarización elíptica. La señal ΔU de detección, denominada $\Delta U_{\text{circular}}$, está influenciada por el tamaño de la zona de superposición de las excitaciones. El signo (negativo o positivo) de una parte de tensión continua creada en esta zona está determinado por el estado de polarización circular de radiación (circular derecho o circular izquierdo).

Una de las posibilidades de utilización del dispositivo de medición según la invención es un dispositivo experimental según la figura 3. La figura 3 representa esquemáticamente un modo de realización experimental y opcional del dispositivo de medición del estado de polarización de la luz y no es limitativa de las utilizaciones del dispositivo de medición según la invención.

Según este modo de realización opcional, está previsto además:

- por lo menos una lámina LAM, siendo la lámina cuarto de onda con respecto a la frecuencia de la onda incidente, siendo la lámina puesta en rotación por un dispositivo rotativo ROT alrededor de un eje AX de rotación azimutal, siendo la lámina atravesada por esta onda incidente para transmitirla a la antena 3,
- un dispositivo para determinar el ángulo ANG de rotación de la lámina LAM alrededor del eje AX de rotación en función del tiempo,
- estando el circuito unido a un dispositivo COMP de tratamiento de datos que permite una medición diferencial del estado de polarización elíptica en función del ángulo ANG de rotación y en función de la señal eléctrica ΔU de detección.

Por supuesto, el dispositivo de medición según la invención puede no comprender estas características, cada una de las cuales es opcional.

Así, en otros modos de realización, la onda incidente THz puede llegar directamente sobre la antena 3.

El modo de realización opcional del dispositivo representado en la figura 3 se basa en la medición de la tensión continua en los terminales del canal del transistor en función del ángulo de rotación de la lámina LAM de retardo de fase (lámina $\lambda/4$). Esta tensión medida entre fuente y drenaje comprende la información relativa a la elipticidad de la onda incidente, procedente de la mezcla entre las 2 perturbaciones del gas de electrones que intervienen en el lado fuente y en el lado drenaje (véase la figura 4). En este esquema, una radiación THz de polarización desconocida atraviesa una lámina cuarto de onda en rotación azimutal e ilumina el detector 1 de polarización elíptica terahercio descrito anteriormente. Las variaciones de intensidad de la señal fuente-drenaje, inducidas por los cambios de elipticidad de la onda THz, en función del ángulo azimutal son registradas y tratadas por ordenador COMP. La señal registrada en función del ángulo de rotación azimutal de la lámina $\lambda/4$ (en la que λ es la longitud de onda de la onda incidente THz), permite una medición diferencial de la elipticidad y una reconstitución de los ejes de polarización de la onda incidente THz.

Se puede prever que el dispositivo para determinar el ángulo (ANG) de rotación de la lámina alrededor del eje de rotación en función del tiempo sea, por ejemplo, el dispositivo ROT de arrastre en rotación. El dispositivo de tratamiento de datos permite determinar, por ejemplo, los valores numéricos E_x y E_y de la primera componente de polarización E_x según la primera dirección X y de la segunda componente de polarización E_y según la segunda dirección Y.

La velocidad a la que el detector puede efectuar la medición le permite ser potencialmente utilizado en unos dispositivos de mediciones temporales de la polarización. Unas variaciones ultra-rápidas del orden de algunos picosegundos pueden, en efecto, ser seguidas por el detector de polarización elíptica descrito anteriormente. En esta configuración, el factor que limita la velocidad de medición es por lo tanto la velocidad de rotación de la lámina cuarto de onda.

El mecanismo de detección THz de polarización lineal o circular se explica a continuación en referencia a las figuras 2A y 2B. De manera simplificada, la excitación del gas de electrones en un extremo del canal, que decrece exponencialmente al llegar al extremo opuesto, conduce a una tensión continua ΔU en los terminales del canal. La distancia característica a la que disminuye la tensión es determinada por el parámetro L . Si el canal es largo ($L_g > 2L$), la excitación del plasma en un extremo no llega al otro extremo, y la tensión continua ΔU cae a cero bajo la

puerta. Si el canal es corto ($2L > L_g$), el plasma es excitado en toda la región bajo la puerta, amortiguándose de un extremo al otro. En el caso de la detección de una radiación polarizada linealmente, la excitación de las ondas de densidad de electrones puede producirse únicamente en un extremo del canal y la señal de detección, ΔU_{lineal} , está determinada por la diferencia de tensión continua entre los dos extremos de la puerta (figura 2A). Para una puerta suficientemente larga, esta diferencia (y por consiguiente la detección) es máxima. Disminuye con la longitud de la puerta (figura 2B) en $1/x'$. En el caso de la detección de radiación que tiene una polarización circular o elíptica, la excitación del gas de electrones se produce por los dos lados del canal, y la señal de detección, $\Delta U_{\text{circular}}$, está determinada por el tamaño de la zona de superposición de las excitaciones y por los valores de las tensiones continuas que aparecen en los terminales del canal (figura 2B).

Para analizar el tipo de polarización de la radiación THz, es preferible utilizar unos transistores con puerta corta ($2L > L_g$). En efecto, si la puerta es larga ($L_g \gg 2L$, figuras 2A, 2C), sólo es posible la detección de la polarización lineal (2A). En el caso de una puerta corta (figura 2B), la variación de la señal puede deberse sólo a una variación de polarización de la configuración circular a las elíptica y/o lineal. Además, el cambio de signo de la señal formada en la zona de superposición de las excitaciones corresponde a un cambio de sentido de rotación del vector de polarización.

Las propiedades no lineales del transistor conducen a un enderezamiento de la corriente alternativa inducida por la radiación incidente en tensión continua. La foto-respuesta consiste en la aparición de una tensión (o de una corriente) continua entre la fuente y el drenaje, proporcional a la potencia de la radiación incidente. La longitud del canal del transistor considerado es mucho más corta que la longitud de onda de la onda incidente. El canal está también completamente cubierto por la puerta metálica.

En el caso de detección de radiación polarizada linealmente, es necesaria una asimetría entre la fuente y el drenaje para inducir un fotovoltaje drenaje-fuente. En el caso de una detección de radiación polarizada circular o elípticamente, para inducir un fotovoltaje drenaje-fuente que representa el estado de polarización de radiación incidente, es necesario tener una asimetría entre la fuente y el drenaje para cada componente de polarización detectada. Así, el conjunto de la antena puede ser simétrico entre la fuente y el drenaje. En lo referente a la presente invención, esta asimetría proviene de la concepción asimétrica de las antenas puerta-drenaje 42b, 32 y fuente-puerta 31, 41b (véase la figura 1).

El régimen de funcionamiento del FET como detector THz depende de la frecuencia ω de radiación y de la longitud de puerta L_g . Un parámetro importante es $\omega\tau$, donde τ es el tiempo de relajación del momento de los electrones. El valor de este parámetro determina si las ondas de plasma están excitadas ($\omega\tau > 1$), o no ($\omega\tau < 1$) en el canal por la radiación incidente. Se considera el caso más frecuente, según el cual $\omega\tau < 1$, de manera que las oscilaciones de plasma están amortiguadas en gran medida o se han transformado en perturbaciones de densidad de carga y el transistor FET funciona como un detector de banda ancha.

Por otro lado, según un modo de realización, la longitud L_g de puerta debe ser inferior o igual a dos veces la longitud L de amortiguación característica. Una corriente alternativa inducida por la fuente puede entonces propagarse en el canal por debajo de la puerta a una distancia del orden de L . Si la longitud de puerta L_g es mucho mayor que la longitud de amortiguación L , entonces el fotovoltaje se genera en una región muy próxima al contacto de fuente y no depende por lo tanto de la longitud L_g . Sin embargo, si $L_g < L$, entonces el fotovoltaje disminuye como L/L_g .

La condición en los límites de la fuente ($x = 0$) se escribe:

$$(U + z_s I)_{x=0} = U_s \cos(\omega t), \quad (2)$$

en la que U e I son la tensión fuente-puerta y la corriente del canal alternativas, respectivamente, Z_s es la impedancia de la antena eficaz 31, 41b para los contactos fuente-puerta, U_s es la tensión alternativa proporcionada por la antena en condiciones de circuito abierto.

La cantidad U_s está relacionada con la intensidad de la radiación entrante, J , y la sensibilidad de la antena, β , por la relación:

$$U_s^2 = \beta \alpha_s J, \quad (3)$$

Cabe señalar que la sensibilidad $\beta \alpha_s$ depende de la frecuencia.

Una condición en los límites similares debe ser impuesta en el lado drenaje ($x = L_g$) por la sustitución del índice s por d . El parámetro pertinente es la relación entre la impedancia z_s de la antena y la impedancia Z de transistor. La impedancia Z del transistor depende de la longitud del canal, de la tensión de polarización de la puerta y de la frecuencia de la radiación. En el caso límite $z_s \ll Z$, la condición en los límites se reduce a $(U)_{x=0} = U_s \cos(\omega t)$, en el sentido opuesto límite $z_s \gg Z$ se puede escribir que $(z_s I)_{x=0} = U_s \cos(\omega t)$. El primer caso límite se ha juzgado anteriormente [8, 19, 20], con la hipótesis según la cual la radiación se aplica sólo entre los contactos fuente y

puerta, y para $U_0 = U_g - U_{th} > 0$, la foto-respuesta viene dada entonces por la ecuación (4) siguiente:

$$\delta U_{sd} = \frac{U_x^2}{4U_0} \left[1 - \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{2L_g}{I}\right) \right]$$

5 El caso en el que $U_0 \leq 0$ se ha estudiado en la referencia [15]. Se ha demostrado que la foto-respuesta del transistor posee un máximo alrededor del umbral. La dependencia de la foto-respuesta en función de la polarización de puerta en la región bajo el umbral, $f(U_g)$, depende de la corriente de fuga de puerta continua y de la impedancia del transistor. Así, utilizando la ecuación (3), el fotovoltaje continuo DC se puede reescribir de la siguiente manera:

$$10 \quad \alpha U_{sd} = \beta \cdot J \cdot f(U_g), \quad (5)$$

en la que $f(U_g)$ está descrita en [15]. Para U_0 positiva, $f = 1/4 U_0$.

15 Al contrario que el enfoque estándar, en la invención, la radiación se lleva a los dos lados del transistor. En otras palabras, el acoplamiento de radiación con el canal del transistor está modelizado por dos antenas eficaces, de las cuales una produce la primera tensión alternativa U_s entre la fuente y la puerta, y la otra produce la segunda tensión alternativa U_d entre el drenaje y la puerta (véase la figura 1). Las contribuciones de estas entradas a la foto-respuesta δU_s et δU_d son de signos opuestos, de manera que si las amplitudes y fases respectivas son iguales, la foto-respuesta resultante es nula.

20 En el caso general, la respuesta fotovoltáica viene dada por:

$$\delta U_{sd} = (\beta_s(\omega) \cdot f_s(U_g) - \beta_d(\omega) \cdot f_d(U_g)) \cdot J \quad (6)$$

25 en la que $\delta U_{sd} = |U_s|^2 \cdot f_s(U_g)$, $\delta U_d = |U_d|^2 \cdot f_d(U_g)$, $U_s = \beta_s(\omega) \cdot J$, $U_d = \beta_d(\omega) \cdot J$.

La primera tensión alternativa U_s provoca una primera perturbación de la densidad de cargas eléctricas en el lado fuente del canal, que se propaga en el canal hacia el drenaje.

30 La segunda tensión alternativa U_d provoca una segunda perturbación de la densidad de cargas eléctricas en el lado drenaje del canal, que se propaga en el canal hacia la fuente.

35 El transistor está dispuesto para generar una interferencia, sensible al estado de polarización elíptica de la onda, entre la primera y la segunda perturbación provocadas respectivamente por las tensiones alternativas U_s y U_d entre el terminal 21 de fuente y el terminal 22 de drenaje. Esta interferencia es el origen de la parte de la señal eléctrica continua entre la fuente y el drenaje sensible en el estado de polarización elíptica de la onda.

40 En estas ecuaciones, β_s et β_d son las sensibilidades de la parte de antena 31, 41b fuente-puerta y de la parte de antena 32, 42b drenaje-puerta, y las funciones $f_s(U_g)$ y $f_d(U_g)$ describen unas foto-respuestas en función de la tensión de polarización de la puerta generadas en los lados fuente y drenaje del canal.

Como muestran los resultados experimentales siguientes:

- 45 (i) la eficacia de la antena depende en gran medida de la frecuencia de la radiación incidente,
- (ii) las dos antenas eficaces son sensibles a la polarización de la radiación: una de ellas es sobre todo sensible a la polarización E_x según X, y la otra a la polarización E_y según Y. Para la polarización elíptica, los signos alternativos a la fuente y al drenaje están desfasados en un ángulo θ no nulo (ángulo θ entre la primera componente de polarización E_x según la primera dirección X y la segunda componente de polarización E_y según la segunda dirección Y, tal como se representa a título de ejemplo en la figura 4 por ejemplo, para la radiación polarizada circularmente $\theta = \pm \pi/2$). El fotovoltaje resultante, δU_{sd} , da un término de interferencia suplementaria proporcional a $J^*(\beta_s \beta_d)^{1/2} \sin \theta \exp(-L_g/L)$. Este término es sensible a la elipticidad de la radiación incidente (signo de θ) y puede dominar si β_s es más o menos igual a β_d .

55 De una manera general,

$$\delta U_{sd} = U_s - U_d + \left(\sqrt{U_d \cdot U_s} \cdot \sin \theta \cdot e^{-\left(\frac{L_g}{L}\right)} \right)$$

La tensión continua ΔU de detección del estado de polarización elíptica de la onda por interferencia es:

$$\Delta U = \left(\sqrt{U_d \cdot U_s} \cdot \sin \theta \cdot e^{-\left(\frac{Lg}{L}\right)} \right)$$

De una manera general, U_s es inferior a 100 mV. De manera general, U_d es inferior a 100 mV.

5 En un ejemplo numérico, por ejemplo para $\theta \approx 76^\circ$ para el cual $\tan \theta = 4$ y $\sin \theta = 0,97$, se obtiene:

$$\text{Potencia incidente sobre el eje y: } P^y = \frac{U_a^2}{4 \cdot Z_s} = 1 \text{ mW}$$

10 U_a es la amplitud de la tensión inducida en la antena entre la fuente y la puerta,

Z_s es la impedancia de la antena eficaz para los contactos fuente-puerta

$$U_s = \frac{U_a^2}{4} \cdot \frac{1}{U^*}$$

15 con

$$U^* = \frac{2\eta k_B T}{e} = 25 \text{ mV}$$

20 η es el factor de idealidad, k_B es la constante de Boltzmann, T es la temperatura, e es la carga en electrón.

$$U_a^2 = 1 \text{ mW} \cdot Z_s \cdot \left(\frac{S_{ant.}}{S_{beam}} \right)$$

25 $Z = 10 \text{ k}\Omega$ es la impedancia del canal, $S_{ant.}$ es la superficie de la antena, S_{beam} es la superficie del haz en el plano de la antena

$$\frac{S_{ant.}}{S_{beam}} = \frac{(50 \mu\text{m})^2}{(500 \mu\text{m})^2} = 10^{-2}$$

en este caso.

$$\begin{aligned} U_a^2 &= 10^{-1} \text{ V}^2 \\ U_a &= 316 \text{ mV} \end{aligned}$$

$$\text{Por lo tanto } U_s = \frac{(316 \text{ mV})^2}{100 \text{ mV}} \approx 1 \text{ mV}$$

35 Por lo tanto, potencia incidente sobre el eje X:

$$P^x = \frac{(U_b)^2}{4 \cdot Z_s} = 0.25 \text{ mW}$$

40 En la que U_b es la amplitud de la tensión inducida en la antena entre la puerta y el drenaje, con

$$\tan \theta = \frac{P^y}{P^x} = \frac{U_s}{U_d}$$

De lo cual: $U_d = 0,25 \text{ mV}$

$$\delta U_{sd} = U_s - U_d + \left(\sqrt{U_d \cdot U_s} \cdot \sin \theta \cdot e^{-\left(\frac{L_g}{L}\right)} \right) = 775 \mu V$$

La tensión continua ΔU de detección del estado de polarización elíptica de la onda por interferencia es en este ejemplo:

$$U_d \cdot U_s \cdot \sin \theta \cdot e^{-\left(\frac{L_g}{L}\right)} = \sqrt{25 \cdot 10^{-8}} \cdot \sin \theta \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 25 \mu V \cdot \sin \theta = 25 \mu V$$

Hasta ahora, la polarimetría THz no estaba desarrollada simplemente por ausencia de detectores de polarización circular y elíptica. Esta carencia puede ser subsanada por la presente invención.

Potencialmente, la polarimetría THz es un campo de estudio extremadamente importante, al tratarse de la identificación de diferentes materiales y de sus propiedades, así como las de las diferentes fuentes de radiación THz. Es posible realizar un paralelismo entre las aplicaciones potenciales de la polarimetría THz y las de la gama óptica. En efecto, la interacción de la luz polarizada con la materia ha permitido el desarrollo de numerosas aplicaciones. Éstas se basan principalmente en la determinación de la estructura intrínseca de los sólidos, pero también en la de objetos biológicos (por medio de microscopía de polarización), en las transiciones cuánticas, pero también en las mediciones astrofísicas de objetos muy alejados. De manera general, la polarización de la luz como herramienta, permite estudiar cualquier tipo de anisotropías de la materia como: el comportamiento de los gases, de los líquidos y de los sólidos en los campos de las perturbaciones anisótropas (mecánica, acústica, eléctrica, fotónica), pero también la estructura de los materiales ópticamente anisótropos, así como las tensiones elásticas en los materiales, etc.

Las informaciones sobre la polarización de las ondas THz dan también un impulso adicional al desarrollo de las aplicaciones existentes en el campo de THz. De este modo, para el control de la cantidad de los productos, la polarimetría THz puede determinar no sólo los defectos que afectan la transparencia del material en forma de fisuras y de cavidades, sino también los defectos debidos al estrés y a las tensiones internas, que afectan sólo a la polarización de la luz transmitida. En lo que se refiere al análisis químico no destructivo de sustancias orgánicas, incluyendo las biológicas, las mediciones de polarización pueden proporcionar una información adicional que es imposible extraer a partir de estudios espectroscópicos simples. La utilización de la polarización circular es también interesante en el ámbito de las telecomunicaciones. En el caso de una radiación polarizada linealmente, el receptor debe ser desplegado en el respeto de la polarización de la onda incidente. Y en el caso de la polarización circular, no es necesario un ajuste adicional del receptor.

Así, el desarrollo de la polarimetría THz puede completar los métodos existentes de análisis THz basados en la definición de la potencia y de la frecuencia de la radiación. En consecuencia, es posible obtener todas las informaciones relativas a los objetos estudiados en el rango de THz.

Un campo de aplicación puede ser también la polarimetría de THz, para el análisis de imágenes en el campo del control de calidad. Otra aplicación posible puede ser la caracterización de instrumentación de laboratorio (láser THz, por ejemplo) o la caracterización de materiales (productos biológicos, por ejemplo).

Se propone así un nuevo aparato que permite la medición a temperatura ambiente de la polarización de una radiación THz dada. De manera sintética, este aparato comprende una antena 2D, un transistor con efecto de campo que rectifica la radiación terahercio, un circuito de lectura y una caja de protección. La novedad de la invención se basa en la utilización de los FET para determinar la polarización de la radiación THz, y en el diseño de antena que permite utilizar estos FET para la detección de radiaciones THz polarizadas circularmente. Se propone una antena que comprende tres partes conectadas a los tres contactos de transistor (fuente, drenaje y puerta) y que forman por ejemplo un ángulo recto. Gracias a esta geometría, se detectan las componentes ortogonales de la polarización de la radiación THz. Estas dos componentes excitan entonces el transistor FET en cada lado del canal (fuente y drenaje). Cuando el canal de transistor es lo bastante corto, las excitaciones se mezclan y da como resultado una señal, que se presenta como una tensión continua entre la fuente y el drenaje. El dispositivo permite determinar el cambio de helicidad de polarización del haz (de circular derecho a circular izquierdo) por el cambio de signo de la señal medida.

En la figura 5, la antena posee sólo dos lóbulos, unidos a la puerta y a la fuente del transistor. La antena es sensible a la radiación polarizada linealmente según el eje X. Esta radiación excita las ondas de densidad de electrones en el canal del transistor, entre la puerta y la fuente. La excitación de este canal bajo la puerta crea una tensión continua drenaje-fuente, ΔU , que constituye la señal de detección. Una eventual componente de polarización perpendicular al eje X no contribuiría a la excitación del gas de electrones y, por lo tanto, no podría ser detectada por el transistor.

En la figura 5, la antena THz para el transistor con efecto de campo permite sólo la detección de radiación polarizada linealmente. X es el eje de polarización de la antena, D es el drenaje, S la fuente, G la puerta y ΔU es la señal de

detección.

La invención permite medir directamente la polarización circular o elíptica de una radiación THz. El valor de la tensión medida en los terminales del dispositivo permite en efecto la determinación directa de los ángulos y de los ejes de polarización de la radiación considerada. Las características de esta invención son: su rapidez, su bajo ruido interno, su facilidad de utilización, su coste de producción muy poco elevado, su posibilidad de integración en matrices (mediciones multipíxeles) y sus pequeñas dimensiones. El dispositivo funciona a temperatura ambiente y se caracteriza también por su bajo consumo de energía.

10 Listado de las referencias citadas

- [1] S. D. Ganichev, J. Kiermaier, W. Weber, S. N. Danilov, D. Schuh, Ch. Gerl, W. Wegscheider, D. Bougeard, G. Abstreiter, y W. Prettl, Appl. Phys. Lett. 91, 091101 (2007).
- 15 [2] S. D. Ganichev, W. Weber, J. Kiermaier, S. N. Danilov, P. Olbrich, D. Schuh, W. Wegscheider, D. Bougeard, G. Abstreiter, y W. Prettl, J. Appl. Phys. 103, 114504 (2008).
- [3] S. N. Danilov, B. Wittmann, P. Olbrich, W. Eder, W. Prettl, L. E. Golub, E. V. Beregunin, Z. D. Kvon, N. N. Mikhailov, S. A. Dvoretzky, V. A. Shalygin, N. Q. Vinh, A. F. G. van der Meer, B. Murdin, y S. D. Ganichev, J. Appl. Phys. 105, 013106 (2009).
- 20 [4] S. D. Ganichev, V. V. Bel'kov, Petra Schneider, E. L. Ivchenko, S. A. Tarasenko, W. Wegscheider, D. Weiss, D. Schuh, E. V. Beregunin, y W. Prettl, Phys. Rev. B., 035319 (2003).
- 25 [5] S. D. Ganichev, Petra Schneider, V. V. Bel'kov, E. L. Ivchenko, S. A. Tarasenko, W. Wegscheider, D. Weiss, D. Schuh, B. N. Murdin, P. J. Phillips, C. R. Pidgeon, D. G. Clarke, M. Merrick, P. Murzyn, E. V. Beregunin, y W. Prettl, Phys. Rev. B. (Rapid Communic.), 081302 (2003).
- [6] H. Diehl, V. A. Shalygin, V. V. Bel'kov, C. Hoffmann, S. N. Danilov, T. Herrle, S. A. Tarasenko, D. Schuh, C. Gerl, W. Wegscheider, W. Prettl y S. D. Ganichev, New Journal Phys. 9, 349 (2007).
- 30 [7] J. Karch, P. Olbrich, M. Schmalzbauer, C. Zoth, C. Brinsteiner, M. Fehrenbacher, U. Wurstbauer, M. Glazov, S. A. Tarasenko, E. L. Ivchenko, D. Weiss, J. Eroms, y S. D. Ganichev, Phys. Rev. Lett. 97, 182107 (2010).
- [8] M. Diakonov y M. S. Shur, IEEE Trans Electron. Devices 43, 380 (1996).
- [9] W. Knap, Y. Deng, S. Rumyantsev y M. S. Shur, Appl. Phys. Lett., 81, 4637 (2002).
- [10] X. G. Peralta, S. J. Allen, M. C. Wanke, N. E. Harff, J. A. Simmons, M. P. Lilly, J. L. Reno, P. J. Burke, y J. P. Eisenstein, Appl. Phys. Lett. 81, 1627 (2002).
- 40 [11] G. C. Dyer, J. D. Crossno, G. R. Aizin, E. A. Shaner, M. C. Wanke, J. L. Reno, y S. J. Allen, J. Phys.: Condens. Mater 21, 195803 (2009).
- [12] E. A. Shaner, Mark Lee, M. C. Wanke, A. D. Grine, y J. L. Reno, S. J. Allen, Appl. Phys. Lett. 87, 193507 (2005).
- [13] D. B. Veksler, A. V. Muravjov, V. Yu. Kachorovskii, T. A. Elkhatab, K. N. Salama, X.-C. Zhang, y M. S. Shur, Solid-State Electron. 53, 571 (2009).
- 50 [14] W. Knap, F. Teppe, Y. Meziani, N. Dyakonova, J. Lusakowski, F. Boeuf, T. Skotnicki, D. Maude, S. Rumyantsev, y M. S. Shur, Appl. Phys. Lett. 85, 675 (2004).
- [15] W. Knap, V. Kachorovskii, Y. Deng, S. Rumyantsev, J.-Q. Lu, R. Gaska, M. S. Shur, G. Simin, X. Hu, M. Asif Khan, C. A. Saylor, y L. C. Brunel, J. Appl. Phys., 91, 9346 (2002).
- 55 [16] R. Tauk, F. Teppe, S. Boubanga, D. Coquillat, W. Knap, Y. M. Meziani, C. Gallon, F. Boeuf, T. Skotnicki, C. Fenouillet-Beranger, D. K. Maude, S. Rumyantsev, y M. S. Shur, Appl. Phys. Lett. 89, 253511 (2006).
- [17] M. Sakowicz, J. Lusakowski, K. Karpierz, M. Grynberg, W. Knap, y W. Gwarek, J. Appl. Phys. 104, 024519 (2008).
- 60 [18] S. Kim, Jeramy D. Zimmerman, P. Focardi, A. C. Gossard, D. H. Wu, y M. S. Sherwin, Appl. Phys. Lett. 92, 253508 (2008).
- [19] W. Knap, D. Coquillat, N. Dyakonova, F. Teppe, O. Klimenko, H. Videlier, S. Nadar, J. Lusakowski, G. Valusis, F. Schuster, B. Giffard, T. Skotnicki, C. Gaquière, y A. El Fatimy C. R. Physique, 11, 433 (2010).

[20] D. Veksler, F. Teppe, A. P. Dmitriev, V. Yu. Kachorovskii, W. Knap, y M. S. Shur, Phys. Rev. B 73, 125328 (2006).

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (1) de medición del estado de polarización de una onda incidente de frecuencia superior a 10 GHz e inferior a 30 THz, comprendiendo el dispositivo:

- por lo menos un transistor con efecto de campo (2) que comprende por lo menos un terminal (21) de fuente, por lo menos un terminal (22) de drenaje y por lo menos un terminal (23) de puerta,
- una antena (3) de recepción de la onda incidente de frecuencia superior a 10 GHz e inferior a 30 THz, unida por lo menos al terminal (23) de puerta,

estando el terminal (21) de fuente y el terminal (22) de drenaje unidos a un circuito (5) para la medición de una señal eléctrica (ΔU) de detección presente entre el terminal (21) de fuente y el terminal (22) de drenaje,

caracterizado por que

la antena (3) de recepción de la onda incidente de frecuencia superior a 10 GHz e inferior a 30 THz es bidireccional, está prevista en el exterior del transistor con efecto de campo (2), es distinta de los terminales (21, 22, 23) del transistor (2) y comprende una primera parte (31) de antena unida al terminal (21) de fuente, una segunda parte (32) de antena unida al terminal (22) de drenaje y una tercera parte (33) de antena bidireccional unida al terminal (23) de puerta,

la primera parte (31) de antena y la tercera parte (33) de antena bidireccional están dispuestas para detectar una primera componente de polarización de la onda, colineal a una primera dirección determinada (X) y que provoca la aparición en el transistor (2) entre el terminal (21) de fuente y el terminal (23) de puerta de una primera tensión alternativa (U_s) de detección de la primera componente según la primera dirección (X),

estando la segunda parte (32) de antena y la tercera parte (33) de antena bidireccional dispuestas para detectar una segunda componente de polarización de la onda, colineal a una segunda dirección determinada (Y) y que provoca la aparición en el transistor (2) entre el terminal (22) de drenaje y el terminal (23) de puerta de una segunda tensión alternativa (U_d) de detección de la segunda componente según la segunda dirección (Y),

siendo la primera dirección (X) no paralela a la segunda dirección (Y) y no estando confundida con la segunda dirección (Y),

estando el transistor (2) dispuesto para generar, como señal eléctrica (ΔU) de detección entre el terminal (21) de fuente y el terminal (22) de drenaje, una tensión continua (ΔU) de detección de la cual una parte está determinada por el estado de polarización elíptica de la onda por interferencia en el transistor (2) entre la primera tensión alternativa (U_s) de detección y la segunda tensión alternativa (U_d) de detección, estando el circuito (5) previsto para analizar el estado de polarización elíptica de la onda por medición de la señal eléctrica (ΔU) de detección entre el terminal (21) de fuente y el terminal (22) de drenaje.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que el transistor (2) está dispuesto para tener una longitud (L_g) de puerta (G), tomada en la dirección que va de la fuente (S) al drenaje (D), inferior o igual a dos veces la longitud (L) de amortiguación característica de la primera tensión alternativa (U_s) y de la segunda tensión alternativa (U_d) en el canal del transistor (2).

3. Dispositivo según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el transistor (2) está dispuesto para tener una longitud (L_g) de puerta (G), tomada en la dirección que va de la fuente (S) al drenaje (D), inferior o igual a dos veces una longitud (L) de amortiguación característica igual a

$$L = \sqrt{\frac{\mu U}{\omega}}$$

en la que ω es la pulsación de la onda, μ es la movilidad de los electrones en el canal del transistor (2), U es la separación de tensión en el umbral, $U = U_t - U_{gs}$ para $U_{gs} > U_t$ y $U = \eta kT/e$ para $U_{gs} \leq U_t$, donde U_t es la tensión de umbral del transistor (2) y U_{gs} es la tensión continua de polarización aplicada entre el terminal de puerta y el terminal de fuente, η es el coeficiente de idealidad, T es la temperatura, k es la constante de Boltzmann.

4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la primera parte (31) de antena comprende un primer brazo (41a) de antena y la tercera parte (33) de antena bidireccional comprende un tercer brazo (41b) de antena, estando el primer brazo (41a) de antena y el tercer brazo (41b) de antena dirigidos según la primera dirección determinada (X) estando opuestos el uno del otro para la detección de la primera componente de polarización de la onda, colineal a la primera dirección (X),

comprendiendo la segunda parte (32) de antena un segundo brazo (42a) de antena y comprendiendo la tercera parte (33) de antena bidireccional un cuarto brazo (42b) de antena, estando el segundo brazo (42a) de antena y el cuarto brazo (42b) de antena dirigidos según la segunda dirección determinada (Y) estando opuestos el uno del otro para la detección de la segunda componente de polarización de la onda, colineal a la segunda dirección (Y).

5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la primera dirección (X) y la segunda dirección (Y) son perpendiculares.

6. Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado por que el primer brazo (41a) es simétrico con respecto a la primera dirección (X).

7. Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado por que el segundo brazo (41b) es simétrico con respecto a la primera dirección (X).

8. Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado por que el tercer brazo (42a) es simétrico con respecto a la segunda dirección (Y).

9. Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado por que el cuarto brazo (42b) es simétrico con respecto a la segunda dirección (Y).

10. Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado por que el primer brazo (41a) y/o el segundo brazo (41b) y/o el tercer brazo (42a) y/o el cuarto brazo (42b) son de forma triangular.

11. Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado por que el primer brazo (41a) y/o el segundo brazo (41b) y/o el tercer brazo (42a) y/o el cuarto brazo (42b) son cada uno planares.

12. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende además por lo menos una lámina (LAM), siendo la lámina cuarto de onda con respecto a la frecuencia de la onda incidente, siendo la lámina puesta en rotación por un dispositivo rotativo (ROT) alrededor de un eje (AX) de rotación azimutal, estando la lámina atravesada por esta onda incidente para transmitirla a la antena (3).

13. Dispositivo según la reivindicación 12, caracterizado por que está previsto un dispositivo para determinar el ángulo (ANG) de rotación de la lámina (LAM) alrededor del eje (AX) de rotación en función del tiempo,

estando el circuito unido a un dispositivo (COMP) de tratamiento de datos que permite una medición diferencial del estado de polarización elíptica en función del ángulo (ANG) de rotación y en función de la señal eléctrica (ΔU) de detección.

FIG. 1

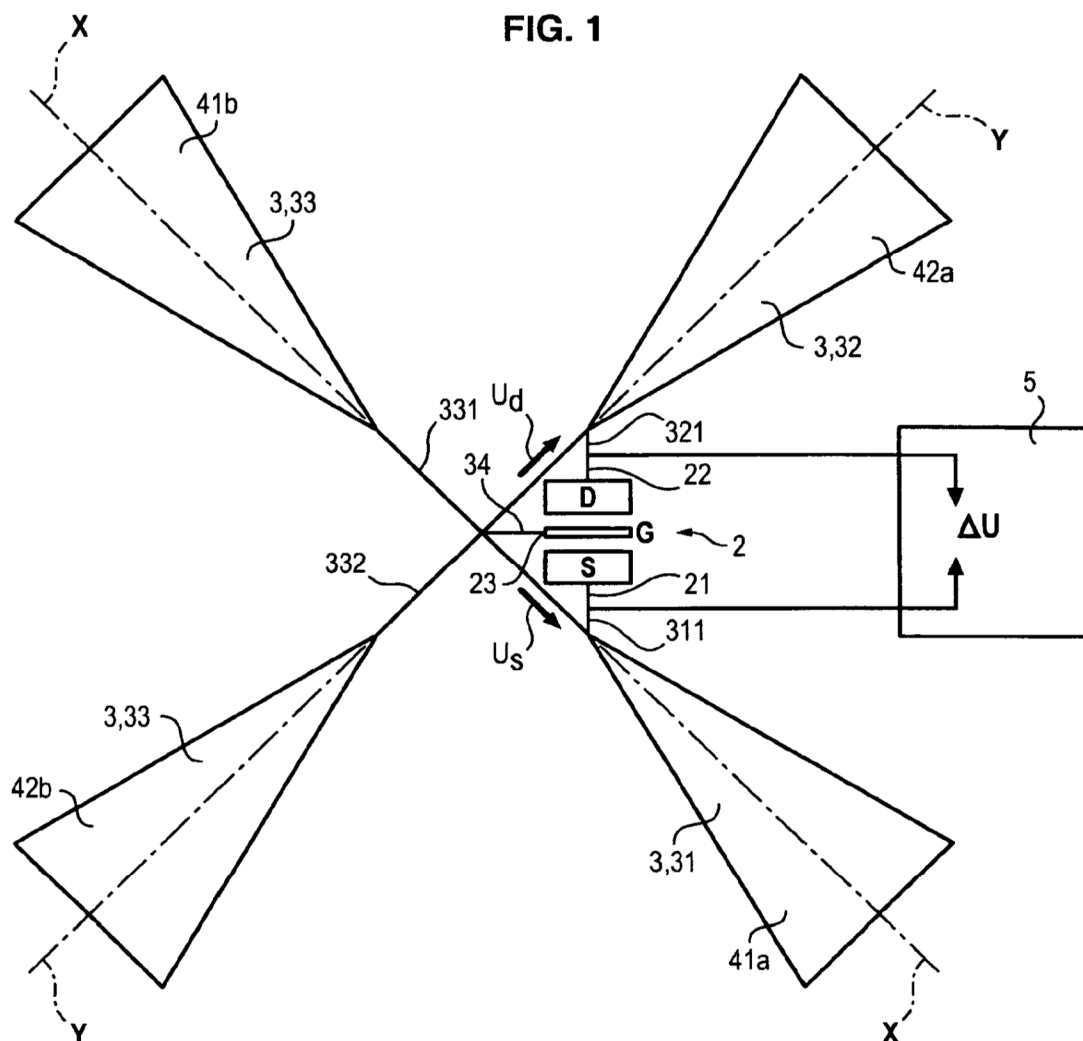


FIG. 2A

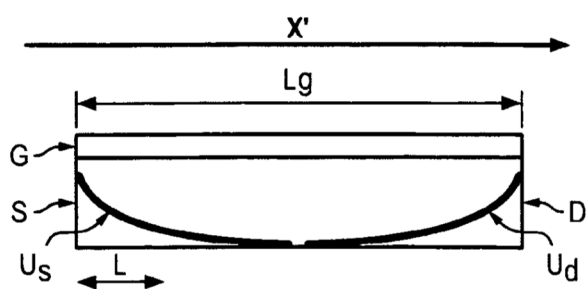


FIG. 2B

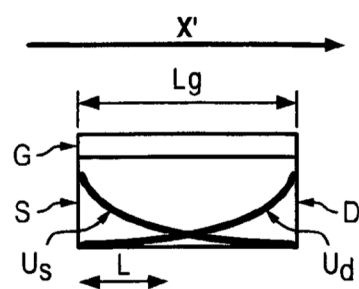


FIG. 3

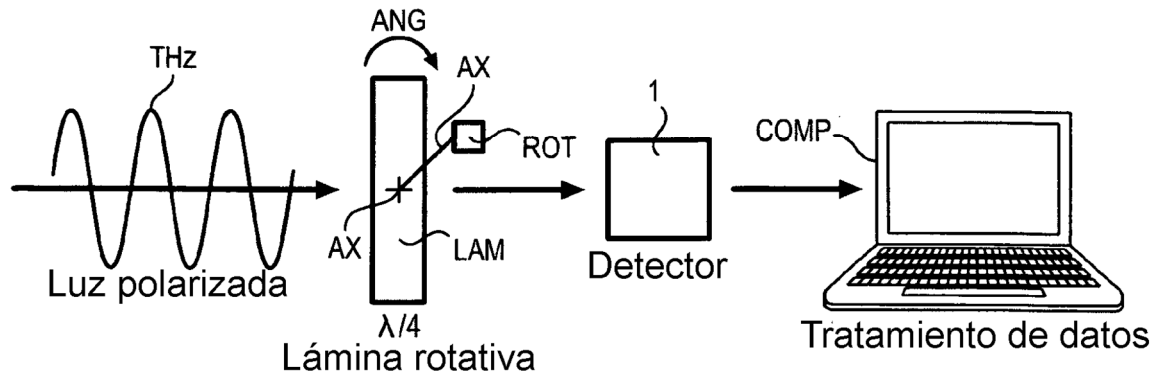


FIG. 4

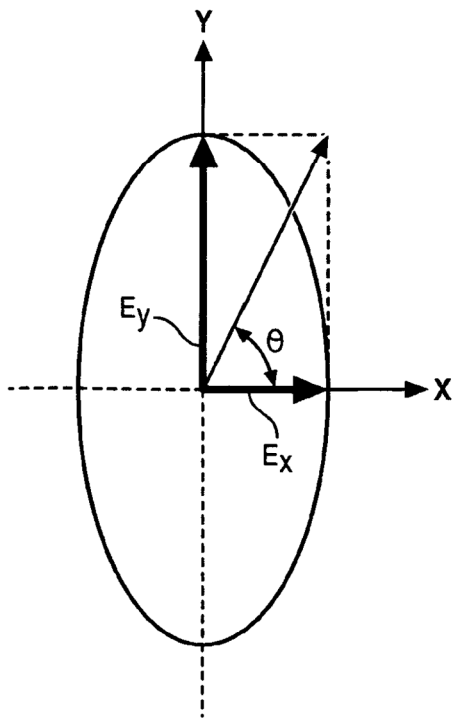


FIG. 5

