

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual  
Oficina internacional



(10) Número de publicación internacional  
**WO 2021/123481 A1**

(43) Fecha de publicación internacional  
24 de junio de 2021 (24.06.2021)

(51) Clasificación internacional de patentes:  
*G01J 11/00* (2006.01) *H01S 3/00* (2006.01)

Raimundo Garcia Dominguez, 2, 15930 Boiro, A Coruña (ES).

(21) Número de la solicitud internacional:  
PCT/ES2020/070798

(72) Inventores: **SOLA LARRAÑAGA, Iñigo Juan**; Universidad de Salamanca, Patio de Escuelas, 1, 37008 Salamanca (ES). **ALONSO FERNÁNDEZ, Benjamín**; Universidad de Salamanca, Patio de Escuelas, 1, 37008 Salamanca (ES).

(22) Fecha de presentación internacional:  
16 de diciembre de 2020 (16.12.2020)

(25) Idioma de presentación: español

(74) Mandatario: **PONS ARIÑO, Angel**; Glorieta Rubén Darío 4, 28010 Madrid (ES).

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:  
P201931137 19 de diciembre de 2019 (19.12.2019) ES

(81) Estados designados (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible*): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG,

(71) Solicitantes: **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA** [ES/ES]; Patio de Escuelas, 1, 37008 Salamanca (ES). **SPHERE ULTRAFast PHOTONICS, S.L.** [ES/ES]; Calle

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR THE TEMPORAL AND SPECTRAL CHARACTERIZATION OF THE AMPLITUDE AND PHASE OF ULTRASHORT LASER PULSES

(54) Título: MÉTODO Y SISTEMA PARA LA CARACTERIZACIÓN TEMPORAL Y ESPECTRAL DE LA AMPLITUD Y FASE DE PULSOS LÁSER ULTRACORTOS

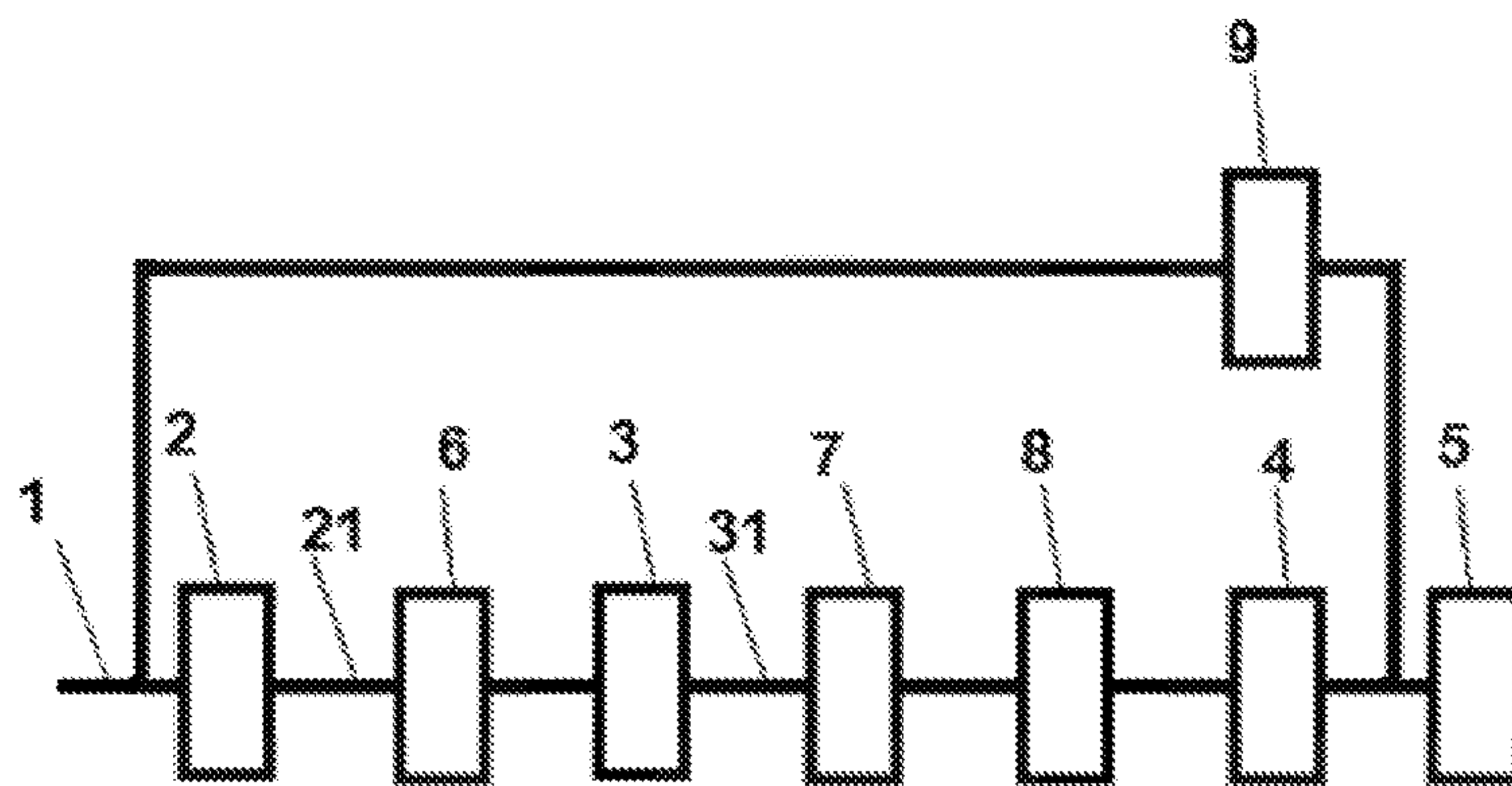


FIG. 6

(57) Abstract: The method comprises steps of: creating at least two replicas (21) of an input pulse (1) to be characterised, varying the relative amplitude of the two replicas (21) within a range, creating a nonlinear signal (31) for each case of said amplitude variation, measuring the spectra of the nonlinear signals (31), and recovering the spectral amplitude and phase of the input pulse (1) by means of a suitable algorithm. The system comprises means (2) for creating at least two replicas (21) of the input pulse (1) and varying their relative amplitude within a range of relative amplitudes, a nonlinear medium (3), which obtains a nonlinear signal (31) for each relative amplitude, and analysing means (4) for measuring and characterising spectrally each nonlinear signal (31).

(57) Resumen: El método comprende crear al menos dos réplicas (21) de un pulso de entrada (1) a caracterizar, variando la amplitud relativa de las dos réplicas (21) dentro de un rango, creando una señal no lineal (31) en cada caso de dicha variación de amplitud, midiendo los espectros de las señales no lineales (31) y recuperando la amplitud espectral y la fase del pulso de entrada (1) mediante



WO 2021/123481 A1

KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

**(84) Estados designados** (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publicada:**

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

---

un algoritmo adecuado. El sistema comprende medios (2) para crear al menos dos réplicas (21) del pulso de entrada (1) y variar su amplitud relativa dentro de un rango de amplitudes relativas, un medio no lineal (3), que obtiene una señal no lineal (31) para cada amplitud relativa, y medios de análisis (4), para medir y caracterizar espectralmente cada señal no lineal (31).

MÉTODO Y SISTEMA PARA LA CARACTERIZACIÓN TEMPORAL Y ESPECTRAL  
DE LA AMPLITUD Y FASE DE PULSOS LÁSER ULTRACORTOS

DESCRIPCIÓN

5

**OBJETO DE LA INVENCION**

El presente documento se refiere a sistemas láser y métodos de caracterización de pulsos láser y presenta un método y sistema para la caracterización de pulsos láser ultracortos.

10

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

El surgimiento de la óptica ultrarrápida y el aumento de sus aplicaciones van en paralelo a la necesidad de caracterizar pulsos láser ultracortos [1]. A medida que estos se vuelven cada vez más complejos y cortos (hasta el extremo del régimen de ciclo único [2,3] o incluso más cortos [4]), las medidas de los pulsos son cada vez más exigentes.

15

Las primeras técnicas de caracterización se basaron en la autocorrelación del pulso [5], obtenida al escanear el retardo temporal entre dos réplicas de pulso y la medida de la potencia de una señal no lineal dependiendo de la superposición temporal de ambas réplicas. Estos métodos dan una idea aproximada de las características del pulso, pero no pueden reconstruir el pulso real ni proporcionar su fase espectral.

20

Más tarde, la técnica FROG [6] utilizó un esquema similar, pero adquiriendo los espectros de la señal no lineal, en lugar de la potencia global de la señal no lineal. Los llamados espectrogramas FROG, que consisten en espectros no lineales que dependen del retardo de las réplicas, codifican información de la fase espectral y, mediante algoritmos de reconstrucción [7,8], se logra reconstruir los pulsos.

25

Algunos años más tarde, se inventó la técnica SPIDER [9] utilizando interferometría espectral, donde ambas réplicas permanecen con un retardo temporal fijo y se introduce un desplazamiento espectral por medio de un proceso no lineal. Por lo tanto, se codifica la derivada de la fase espectral del pulso en la interferencia espectral de ambas réplicas y se extrae mediante análisis de Fourier.

30

35



Otra evolución de la estrategia de interferometría espectral es la interferometría espectral autorreferenciada (Wizzler) [10], donde el pulso de referencia se limpia en el tiempo, obteniendo una fase espectral plana.

5 En 2004 se presentó una estrategia diferente con la caracterización del pulso mediante escaneo de fase, el llamado escaneo multifotónico de la fase de interferencia entre pulsos o *multiphoton intrapulse interference phase scan* (MIIPS) [11,12]. La idea general consiste en introducir un conjunto conocido de fases espectrales en el pulso de prueba y observar la señal de generación de armónico de segundo orden (SHG) del pulso resultante. Por lo  
10 tanto, la dispersión de retardo de grupo o *group delay dispersion* (GDD) desconocida del pulso se puede extraer a una longitud de onda dada calculando la cantidad de GDD dentro del rango de barrido necesario para optimizar la señal SHG a esa longitud de onda.

Más tarde, la técnica d-scan [13] utilizó el concepto de barrido de fase espectral con  
15 algunas modificaciones prácticas e introdujo algoritmos de recuperación [14-17] para reconstruir la fase espectral del pulso de prueba. Se propuso una técnica relacionada en [18], utilizando un filtro dispersivo programable acústico-óptico (AOPDF) para el escaneo de la fase espectral conocida y un algoritmo para reconstruir tanto la amplitud espectral como la fase del pulso.

20

En general, la parte principal de la caracterización temporal del pulso opera en condiciones de estabilidad de laboratorio. Un desafío importante hoy en día es implementar configuraciones de caracterización lo suficientemente robustas y simples para trabajar en condiciones menos controladas.

25

Por lo tanto, uno de los objetivos principales del presente trabajo es estudiar la idea y la implementación de sistemas de reconstrucción capaces de afrontar esas demandas. Por otro lado, para diseñar un sistema de caracterización, es necesario tener en cuenta los rangos de duración temporal y la longitud de onda central del pulso para reconstruir, ya  
30 que son condicionantes importantes para la implementación del sistema. Aquí, nuestro objetivo era desarrollar un sistema simple y robusto para la caracterización del pulso, presentando una configuración en línea, pudiendo adaptarse fácilmente a una amplia gama de duraciones de pulso.

35

Aquí presentamos un enfoque diferente para la reconstrucción del pulso utilizando réplicas retrasadas y variando la amplitud relativa entre ellas. El retardo temporal se puede elegir de tal manera que las dos réplicas se superpongan en el tiempo. Al variar la amplitud

relativa entre ellos, la evolución temporal resultante cambia debido a la interferencia del pulso en el dominio temporal.

Si posteriormente el pulso resultante genera una señal no lineal (por ejemplo, pero sin limitarse a ella, por segunda generación armónico, SHG), el espectro no lineal dependerá en gran medida de su evolución temporal. Por lo tanto, al escanear la amplitud relativa entre las dos réplicas, el espectro de la señal no lineal puede cambiar, codificando información sobre el pulso de entrada original.

## 10 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención describe un método y sistema para la caracterización temporal y espectral de la amplitud y fase de pulsos láser ultracortos.

15 Algunas técnicas de reconstrucción (p. ej., autocorrelación, FROG) consisten en un barrido del retraso temporal de dos réplicas con amplitud constante (se puede hacer en configuraciones colineales o no colineales) de un pulso de entrada original, y la generación, en cada retraso temporal, de una señal no lineal dada de la interacción, con un medio no lineal, de la distribución de la superposición de amplitud temporal resultante.

20

Por lo general, la creación de las réplicas y el barrido del retardo temporal se realiza utilizando un interferómetro, lo que hace que las configuraciones sean sensibles al ruido, aunque se han propuesto varias configuraciones alternativas y más compactas [16-18]. La técnica SPIDER, por otro lado, utiliza un retraso fijo entre las réplicas y las técnicas como MIIPS y d-scan no utilizan réplicas del pulso, siendo mucho más estables debido a su configuración en línea.

25

En la presente invención, se describe una técnica diferente para la reconstrucción del pulso. Mediante el uso de al menos dos réplicas de un pulso ultracorto, desplazadas un retardo temporal dado y variando la amplitud relativa entre ellos. El pulso ultracorto puede ser un pulso escalar con polarización lineal constante o un pulso vectorial, con polarización evolucionando espectral y temporal.

30

El retraso temporal se puede elegir de tal manera que las al menos dos réplicas se superpongan en el tiempo. Al variar la amplitud relativa entre ellas, la evolución temporal resultante cambia debido a la interferencia del pulso ultracorto en el dominio del tiempo. Si posteriormente el pulso resultante genera una señal no lineal (por ejemplo, pero sin

35

limitarse a, por generación de segundo armónico, SHG), los espectros no lineales dependerán en gran medida de su evolución temporal.

5 La amplitud, la amplitud relativa y la variación de la amplitud relativa se refieren a la amplitud de una o más réplicas, y donde la variación puede estar en el módulo de la amplitud o en el módulo y fase de la amplitud compleja.

10 Por lo tanto, al escanear el balance de la amplitud entre al menos dos réplicas, los espectros de la señal no lineal pueden cambiar, codificando información sobre el pulso ultracorto de entrada original. La medida de los espectros no lineales dependiendo de los valores de amplitud relativa de las al menos dos réplicas es la traza de la señal de espectros no lineales. Un algoritmo recupera la estructura temporal y espectral del pulso de entrada a partir de dicha traza de las amplitudes relativas de las réplicas.

15 Se da a conocer un método para la caracterización de pulsos láser ultracortos, comprendiendo el método:

- una etapa de manipulación del pulso, que comprende los pasos de:
  - 20 ○ crear al menos dos réplicas de un pulso de entrada a caracterizar con un retraso temporal entre ellas, estando las al menos dos réplicas caracterizadas por una amplitud relativa;
  - variar la amplitud relativa de las al menos dos réplicas, lo cual se puede hacer de manera uniforme o no uniforme, entre un límite inferior y un límite superior de un rango, de manera continua o escalonada a lo largo del rango, para obtener un rango de amplitudes relativas, es decir, la variación de los
  - 25 valores de las amplitudes relativas de las al menos dos réplicas, entre las al menos dos réplicas;
- una etapa no lineal, que comprende el paso de:
  - 30 ○ aplicar un proceso no lineal a las al menos dos réplicas, obteniendo una señal no lineal para cada valor de amplitudes relativas de las al menos dos réplicas;
- una etapa de detección, que comprende los pasos de:
  - medir y adquirir un espectro de cada señal no lineal, obteniendo una traza bidimensional;
- una etapa de procesamiento y reconstrucción, que comprende los pasos de:
  - 35 ○ recuperar la amplitud y la fase temporal y espectral del pulso de entrada, aplicando un algoritmo a los espectros no lineales de la señal bidimensional.



El espectro del pulso de entrada puede medirse y adquirirse directamente, para usarse dentro de la etapa de procesamiento y reconstrucción para calcular la fase espectral y la amplitud y fase temporal del pulso de entrada usando dicho algoritmo.

5

El espectro lineal de las al menos dos réplicas en función de sus amplitudes variables puede medirse y adquirirse, para usarse dentro de la etapa de procesamiento y reconstrucción para calcular la amplitud y la fase espectral y temporal del pulso de entrada usando dicho algoritmo.

10

La secuencia particular de los pasos mostrados aquí tiene solo un propósito ilustrativo. Por lo tanto, podría modificarse sin apartarse de la divulgación. En consecuencia, a menos que se indique lo contrario, los pasos descritos están por tanto desordenados, lo que significa que, cuando sea posible, los pasos se pueden realizar en cualquier orden conveniente o deseable de manera que se logre el mismo objetivo.

15

Es posible que los espectros de la señal no lineal generados por las al menos dos réplicas presenten regiones cortadas y/o huecas, y la etapa de procesamiento y reconstrucción aun así puede calcular la amplitud y la fase espectral y temporal del pulso de entrada.

20

Es posible que los espectros de la señal no lineal generados por las al menos dos réplicas no estén calibrados, y la etapa de procesamiento y reconstrucción aun así puede calcular la amplitud y fase espectral y temporal del pulso de entrada, con la posibilidad de que la etapa de procesamiento incluya un paso para la calibración de dicha señal no lineal.

25

El proceso no lineal en la etapa no lineal puede comprender la generación de segundo armónico, la generación de suma de frecuencias, la generación de diferencia de frecuencias, la generación de segundo armónico transversal, la generación transversal de suma de frecuencias, la generación transversal de diferencia de frecuencias, el efecto Kerr óptico y efectos no lineales relacionados con modulación de fase, generación de ondas de polarización cruzada y/o generación de armónicos de tercer orden y órdenes superiores, auto-difracción o una combinación de los mismos.

30

El proceso no lineal aplicado en la etapa no lineal, y por consiguiente la señal no lineal, pueden comprender un efecto no lineal que afecta a los espectros fundamentales, la dirección del haz o la polarización del pulso de las al menos dos réplicas resultantes de la variación de la amplitud, por ejemplo, pero no limitado a, generación de segundo armónico,

35

generación de suma de frecuencias, generación de diferencia de frecuencias, el efecto Kerr óptico, automodulación y modulación cruzada de fase, generación de onda de polarización cruzada, generación de armónicos de tercer orden y órdenes superiores, generación de auto-difracción, o combinaciones de los mismos.

5

En el método, la señal no lineal se puede detectar superpuesta con una parte restante del pulso de entrada o de la señal (lineal) de las al menos dos réplicas, con el fin de ser utilizada para calcular la fase absoluta (fase envolvente-portadora) del pulso de entrada.

10

La presente invención también comprende un sistema para la caracterización de pulsos ultracortos. El sistema comprende los elementos que se describen a continuación:

- medios para crear al menos dos réplicas de un pulso de entrada, variando su amplitud relativa y obteniendo un rango de amplitudes relativas,
- un medio no lineal, asociado a los medios para la creación de las al menos dos
- 15 réplicas, que obtiene una señal no lineal para cada amplitud relativa,
- medios de análisis, asociados al medio no lineal, para medir y caracterizar
- espectralmente la señal no lineal para cada amplitud relativa.

Además, el sistema puede comprender uno o más de los siguientes elementos:

20

- un primer elemento óptico, colocado entre los medios para crear las al menos dos réplicas y el medio no lineal, destinado a enfocar las al menos dos réplicas en el medio no lineal, y/o

- un elemento de filtrado colocado entre el medio no lineal y los medios de análisis, destinado a filtrar la señal no lineal, y/o

25

- un segundo elemento óptico, colocado entre el medio no lineal y los medios de análisis, o entre el elemento de filtrado y los medios de análisis, destinado a enfocar y recoger la señal no lineal o la señal no lineal filtrada, respectivamente, y/o

- una unidad de análisis numérico, asociada a los medios de análisis, para calcular la amplitud y fase espectral y temporal del pulso de entrada, y/o

30

- medios de análisis adicionales, asociados al pulso de entrada y a la unidad de análisis numérico, destinados a medir la amplitud espectral del pulso de entrada, y/o

- medios de análisis adicionales, asociados a los medios para crear al menos dos réplicas del pulso de entrada y a la unidad de análisis numérico, destinados a medir
- 35 el espectro lineal de las al menos dos réplicas.



En una realización, los medios para crear al menos dos réplicas comprenden uno o más elementos que, mediante rotación, varían las amplitudes relativas entre las al menos dos réplicas de la entrada de pulsos e introducen el retardo temporal entre las al menos dos réplicas, así como la variación de amplitud relativa. Los medios para la creación de al menos dos réplicas también comprenden un elemento de polarización utilizado para seleccionar la proyección de la polarización en una dirección dada.

En una realización, los medios para crear al menos dos réplicas comprenden un elemento birrefringente o un conjunto de elementos birrefringentes y un elemento de polarización o conjunto de elementos de polarización para la generación de las dos réplicas del pulso de entrada y la amplitud relativa entre ellas se logra mediante la rotación de al menos uno de los elementos birrefringentes referidos.

En una realización, los medios para crear al menos dos réplicas comprenden un interferómetro donde las amplitudes relativas entre sus brazos se utilizan para la generación de las dos réplicas del pulso a caracterizar y variar la amplitud relativa entre ellos.

En una realización, los medios para crear al menos dos réplicas comprenden un modulador de luz para la generación de las dos réplicas del pulso para caracterizar y la amplitud relativa entre ellos se consigue cambiando las condiciones del modulador. El dispositivo modulador puede ser un filtro dispersivo programable acusto-óptico, un cristal líquido, un modulador espacial de luz controlado eléctricamente, mecánicamente u ópticamente, u otro tipo de dispositivo.

En una realización, los medios para crear al menos dos réplicas comprenden un elemento birrefringente o un conjunto de elementos birrefringentes que presentan una birrefringencia en función de al menos una coordenada espacial, lo cual se utiliza para introducir la variación de las amplitudes relativas codificada en diferentes posiciones de dicha coordenada espacial.

En una realización, los medios para variar la amplitud relativa entre las al menos dos réplicas pueden comprender uno o más elementos que pueden rotar o trasladarse, introduciendo el retraso temporal y la variación de amplitud relativa entre las réplicas, y seleccionando la proyección de polarización en una determinada dirección por medio de un elemento polarizador.

En una realización, los medios para variar la amplitud relativa entre las al menos dos réplicas pueden comprender un conjunto de componentes ópticos, que incluyen una o más cuñas birrefringentes, elementos anisotrópicos, interferómetros, moduladores acusto-  
5 ópticos, dispositivos de cristal líquido y elementos de polarización, que introducen el retardo temporal y la variación de la amplitud relativa entre dichas réplicas con respecto a una coordenada espacial, siendo compatible con la medida y caracterización espectral de la señal no lineal para cada amplitud relativa en una sola adquisición (con un solo disparo láser o con un promedio de múltiples tiros).

10 El primer elemento óptico puede comprender, entre otros, lentes, fibras ópticas, lentes GRIN, espejos planos o curvos, que se utilizan para enfocar las al menos dos réplicas en el medio no lineal para generar la señal no lineal.

El elemento de filtrado puede comprender un elemento óptico o un conjunto de elementos  
15 ópticos que comprenden, pero no se limitan a, elementos ópticos dicróicos, filtros espectrales, máscaras espaciales, polarizadores lineales o cubos polarizadores, y se utilizan para separar la señal lineal de la señal no lineal.

El segundo elemento óptico puede comprender, pero sin limitarse a, lentes, fibras ópticas,  
20 lentes GRIN, o espejos planos o curvados, para recoger la señal no lineal.

Los medios de análisis pueden comprender sensores resueltos espectralmente que incluyen, entre otros, monocromadores, espectrómetros basados en cámaras CCD o CMOS o detectores unidimensionales, destinados a adquirir, analizar y registrar los  
25 espectros de la señal lineal y/o no lineal.

La unidad de análisis numérico puede comprender un procesador electrónico de datos configurado para calcular la fase espectral del pulso de entrada, a partir de la amplitud espectral de la señal no lineal medida para cada una de las amplitudes relativas utilizadas  
30 entre las réplicas, y del espectro lineal del pulso de entrada, siendo el espectro lineal medido directamente del pulso de entrada o recuperado de la señal no lineal medida.

En una realización, la fase espectral del pulso a caracterizar se calcula mediante un algoritmo numérico que incluye, pero no se limita a, un algoritmo iterativo para aproximar  
35 la fase espectral recuperada a la fase espectral real del pulso de entrada en un número de iteraciones.

En una realización, el algoritmo comprende un algoritmo numérico, analítico o numérico-analítico, que incluye, pero no limita el alcance de la invención, optimización, optimización iterativa, optimización no lineal, ajuste por mínimos cuadrados, algoritmos genéticos, evolutivos, de aprendizaje automático, de aprendizaje profundo o de redes neuronales, y algoritmos basados en proyecciones, o combinaciones de los mismos.

5

En una realización, la aplicación de un algoritmo numérico para la recuperación de la fase espectral del pulso de entrada comprende parametrizar dicha función de fase espectral, lo que incluye, pero no se limita a, una expansión en serie de Taylor, una expansión en serie de Fourier, discretización directa e interpolación de la fase o sus derivadas, un conjunto de funciones base para un espacio de funciones, o combinaciones de ellas.

10

### DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y para ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferido de realización práctica de la misma, se adjunta una serie de dibujos como parte integral de dicha descripción en la que, con y carácter no limitativo, se ha representado lo siguiente:

15

Figura 1.- Muestra, simulada en la fila 1, y recuperada en la fila 2, la traza de los espectros de la señal no lineal. Los diferentes valores de dispersión de retardo de grupo (GDD) del pulso de entrada se representan en las columnas.

20

Figura 2.- Muestra, en la fila 1 el espectro simulado (negro), junto con la fase espectral simulada (gris oscuro continua) y la fase espectral recuperada (gris claro discontinua). En la fila 2 la intensidad y fase temporales simuladas (gris oscuro continua) y recuperadas (gris claro discontinua). Se representan diferentes GDD en las columnas.

25

Figura 3.- Muestra, simulada en la fila 1, y recuperada en la fila 2, la traza de los espectros de la señal no lineal. Los diferentes valores de dispersión de tercer orden (TOD) del pulso de entrada se representan en las columnas.

30

Figura 4.- Muestra, en la fila 1, el espectro simulado (negro), junto con la fase espectral simulada (gris oscuro continua) y la fase espectral recuperada (gris claro discontinua). En la fila 2 la intensidad simulada (gris oscuro continua) y recuperada (gris claro discontinua). Se representan diferentes TOD en las columnas.

35



Figura 5.- Muestra, en la columna 1, los espectros de la señal no lineal experimental; en la columna 2 la correspondiente señal recuperada por el algoritmo. Las fases espectrales recuperadas (columna 3, curva gris claro continua) y las intensidades del pulso en el dominio temporal (columna 4, curva gris claro continua) obtenidos con el presente método se comparan con la correspondiente espectral recuperado (columna 3, curva gris oscuro discontinua) y las intensidades del pulso en el dominio temporal (columna 4, curva gris oscuro discontinua) obtenidas a partir del d-scan auto-calibrado. Las filas A-D corresponden a diferentes casos de compresión del pulso.

Figura 6.- Muestra un esquema simplificado del sistema.

### REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

La presente descripción presenta un método y un sistema para la reconstrucción y caracterización temporal y espectral de pulsos láser ultracortos, que pueden ser pulsos escalares con una polarización lineal constante o pulsos vectoriales, con polarización dependiendo de la frecuencia y del tiempo.

El método comprende pasos para crear dos réplicas (21) de un pulso de entrada (1) a caracterizar, variando la amplitud relativa de las dos réplicas (21) a lo largo de un escaneo (ya sea escaneo o codificado espacialmente), de forma continua o paso a paso, creando en cada caso de dicho escaneo una señal no lineal (31), midiendo los espectros de las señales no lineales (31) y recuperando la fase espectral (y posiblemente la amplitud espectral) del pulso de entrada (1) y su amplitud compleja en el dominio del tiempo mediante un algoritmo adecuado.

Específicamente, se describe un método para caracterizar pulsos láser ultracortos, el método comprende:

- una etapa de manipulación del pulso, que comprende los pasos de:
  - o crear dos réplicas (21) del pulso de entrada (1) a caracterizar, con un retraso temporal entre ellas, en el que las dos réplicas (21) tienen una amplitud relativa;
  - o variar la amplitud relativa de las dos réplicas (21) para obtener un rango de amplitudes relativas entre las dos réplicas (21);
- una etapa no lineal, que comprende los pasos de:

- aplicar un proceso no lineal a las dos réplicas (21), obteniendo una señal no lineal (31) para cada valor de amplitudes relativas de las al menos dos réplicas (21);
- una etapa de detección, que comprende los pasos de:
  - 5 ○ medir y adquirir los espectros de las señales no lineales (31), dependiendo de la amplitud relativa entre las dos réplicas (21), obteniendo una traza bidimensional;
  - medir y adquirir la amplitud espectral del pulso de entrada (1);
- una etapa de procesamiento y reconstrucción, que comprende los pasos de:
  - 10 ○ calcular con un algoritmo la fase espectral del pulso de entrada (1), aplicando el algoritmo a los espectros de la señal no lineal (31); y
  - calcular la amplitud temporal y la fase del pulso de entrada (1) a caracterizar aplicando, preferiblemente, una transformada de Fourier inversa al espectro lineal medido y a la fase espectral recuperada.

15

El método puede comprender además el paso de superponer los espectros de la señal no lineal (31) de las al menos dos réplicas (21) con una parte remanente intencionalmente no filtrada del pulso de entrada (1) o de la señal lineal de las al menos dos réplicas (21) y su uso para calcular la fase absoluta (fase envolvente-portadora) del pulso de entrada (1).

20

La presente invención también comprende un sistema, mostrado en la figura 6, para la caracterización de pulsos láser ultracortos. El sistema comprende los elementos que se describen a continuación:

- medios para crear al menos dos réplicas (2) de un pulso de entrada (1) y variar su amplitud relativa, obteniendo al menos dos réplicas resultantes (21),
- 25 - un medio no lineal (3), asociado a los medios para crear al menos dos réplicas (2), que obtiene una señal no lineal (31) para cada amplitud relativa de las al menos dos réplicas resultantes (21),
- un primer elemento óptico (6), colocado entre los medios (2) para crear al menos dos réplicas (21) y el medio no lineal (3), destinado a enfocar las al menos dos réplicas resultantes en el medio no lineal (3),
- 30 - medios de análisis (4), asociados al medio no lineal (3), para medir y caracterizar espectralmente la señal no lineal (31) para cada pulso resultante,
- un elemento de filtrado (7) colocado entre el medio no lineal (3) y los medios de análisis (4), destinado a filtrar la señal no lineal (31),
- 35

- un segundo elemento óptico (8), colocado entre el elemento de filtrado (7) y los medios de análisis (4), destinado a enfocar la señal no lineal filtrada (31) en los medios de análisis (4),
  - una unidad de análisis numérico (5), asociada a los medios de análisis (4), para  
5 calcular la fase espectral, y
  - medios de análisis adicionales (9), asociados al pulso de entrada (1) y a la unidad de análisis numérico (5), destinados a medir la amplitud espectral del pulso de entrada (1).
- 10 Como ejemplo, una primera realización de la invención consiste en:
- los medios (2) para crear dos réplicas (21) que comprenden una lámina retardadora giratoria y un polarizador lineal,
  - el primer elemento óptico (6) que comprende óptica de focalización,
  - el medio no lineal (3), que es un material de generación de segundo armónico,
  - 15 - el elemento de filtrado (7) que comprende óptica para separar la radiación fundamental de la no lineal, y
  - los medios de análisis (4) y los medios de análisis adicionales (9).

Sobre la base de dicha primera forma de realización, la figura 1 muestra los espectros de  
20 la señal no lineal (31) correspondientes al pulso de entrada (1) simulados (fila 1) y recuperados (fila 2), el cual tiene una duración de 100 fs (en condición de límite de Fourier) de ancho completo a la mitad del máximo (FWHM) con longitud de onda central de 800 nm, considerando diferentes GDD representadas en las columnas,  $GDD = -40000 fs^2$ ,  $5000 fs^2$ ,  $0 fs^2$ ,  $+5000 fs^2$ ,  $+40000 fs^2$ , respectivamente. El ángulo representa la  
25 orientación del eje rápido de la lámina retardadora. El pulso de entrada (1) está linealmente polarizado en el eje x, mientras que el polarizador lineal en el eje x se coloca después de la lámina retardadora y antes del material de generación de segundo armónico.

Después de aplicar el algoritmo, la figura 2 presenta la comparación entre los pulsos  
30 simulados y recuperados en cada uno de los casos de la GDD de la figura 1: (fila 1) espectro simulado (negro) y fase espectral simulada (gris oscuro) y recuperada (gris claro); (fila 2) intensidad y fase temporal simulada (gris oscuro) y recuperada (gris claro). Los diferentes valores de GDD del pulso de entrada se representan en las columnas,  $GDD = -40000 fs^2$ ,  $5000 fs^2$ ,  $0 fs^2$ ,  $+5000 fs^2$ ,  $+40000 fs^2$ , respectivamente. El acuerdo entre  
35 simulaciones y reconstrucciones es bueno.



En otro ejemplo, usando la primera realización de la invención, la figura 3 muestra los espectros de la señal no lineal (31) correspondientes al pulso de entrada (1) simulados (fila 1) y recuperados (fila 2), el cual tiene una duración de 100 fs (en condición de límite de Fourier) de ancho completo a la mitad del máximo (FWHM) con longitud de onda central de 800 nm, considerando diferentes TOD representadas en las columnas, TOD =  $-4000000 f_s^3$ ,  $-1000000 f_s^3$ ,  $0 f_s^3$ ,  $+1000000 f_s^3$ ,  $+4000000 f_s^3$ , respectivamente.

Después de aplicar el algoritmo, la figura 4 presenta la comparación entre las simulaciones y los pulsos recuperados en cada uno de los casos de TOD de la figura 3: (fila 1) espectro simulado (negro) y fase espectral simulada (gris oscuro) y recuperada (gris claro); (fila 2) intensidad temporal simulada (gris oscuro) y recuperada (gris claro). Los diferentes valores de TOD del pulso a caracterizar se representan en las columnas, TOD =  $-4000000 f_s^3$ ,  $-1000000 f_s^3$ ,  $0 f_s^3$ ,  $+1000000 f_s^3$ ,  $+4000000 f_s^3$ , respectivamente. El acuerdo entre simulaciones y reconstrucciones es bueno.

Como otro ejemplo, mostramos una comparación experimental que se muestra en la figura 5, entre el presente método y la técnica d-scan en su versión autocalibrada [16,19]: (columna 1) trazas experimentales de los espectros de la señal no lineal; (columna 2) correspondientes trazas reconstruidas. Las fases espectrales recuperadas (columna 3, curva gris clara) y las intensidades recuperadas del pulso en el dominio temporal (columna 4, curva gris clara) se comparan con las correspondientes fases espectrales recuperadas (columna 3, curva gris oscura) y las intensidades recuperadas del pulso en el dominio temporal (columna 4, curva gris oscura) por medio del d-scan autocalibrado. Las filas A-D corresponden a diferentes casos de compresión de pulso. El acuerdo entre ambas técnicas es bueno, validando los resultados.

Las siguientes referencias deben considerarse incluidas en este documento en su totalidad:

1. I. A. Walmsley, C. Dorrer, "Characterization of ultrashort electromagnetic pulses," Adv. Opt. Photonics **1**, 308–437 (2009).
2. H. Timmers, Y. Kobayashi, K. F. Chang, M. Reduzzi, D. M. Neumark, S. R. Leone, "Generating high-contrast, near single-cycle waveforms with third-order dispersion compensation," Opt. Lett. **42**, 811 (2017).
3. F. Silva, B. Alonso, W. Holgado, R. Romero, J. S. A. N. Román, E. C. Jarque, H. Koop, V. Pervak, H. Crespo, Í. J. Sola, "Strategies for achieving intense single-cycle pulses with in-line post-compression setups," Opt. Lett. **43**, 337–340 (2018).

4. A. Wirth, M. T. Hassan, I. Grguras, J. Gagnon, A. Moulet, T. T. Luu, S. Pabst, R. Santra, Z. A. Alahmed, A. M. Azzeer, V. S. Yakovlev, V. Pervak, F. Krausz, E. Goulielmakis, "Synthesized Light Transients," *Science* (80-. ). **334**, 195–200 (2011).
5. J. A. Armstrong, "Measurement of picosecond laser pulse widths," *Appl. Phys. Lett.* **10**, 16–18 (1967).
6. D. J. Kane, R. Trebino, "Characterisation of arbitrary femtosecond pulses using frequency-resolved optical gating," *IEEE J. Quantum Electron.* **29**, 571–579 (1993).
10. 7. R. Trebino, D. J. Kane, "Using phase retrieval to measure the intensity and phase of ultrashort pulses: frequency-resolved optical gating," *J. Opt. Soc. Am. A* **10**, 1101–1111 (1993).
8. K. W. DeLong, B. Kohler, K. Wilson, D. N. Fittinghoff, R. Trebino, "Pulse retrieval in frequency-resolved optical gating based on the method of generalized  
15 projections," *Opt. Lett.* **19**, 2152 (1994).
9. C. Iaconis, I. A. Walmsley, "Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction of ultrashort optical pulses," *Opt. Lett.* **23**, 792–794 (1998).
10. T. Oksenhendler, S. Coudreau, N. Forget, V. Crozatier, S. Grabielle, R. Herzog, O. Gobert, D. Kaplan, "Self-referenced spectral interferometry," *Appl. Phys. B-  
20 Lasers Opt.* **99**, 7–12 (2010).
11. V. V. Lozovoy, I. Pastirk, M. Dantus, "Multiphoton intrapulse interference IV Ultrashort laser pulse spectral phase characterization and compensation," *Opt. Lett.* **29**, 775 (2004).
12. B. Xu, J. M. Gunn, J. M. Dela Cruz, V. V. Lozovoy, M. Dantus, "Quantitative  
25 investigation of the multiphoton intrapulse interference phase scan method for simultaneous phase measurement and compensation of femtosecond laser pulses," *J. Opt. Soc. Am. B* **23**, 750 (2006).
13. M. Miranda, T. Fordell, C. Arnold, A. L'Huillier, H. Crespo, "Simultaneous compression and characterization of ultrashort laser pulses using chirped mirrors and glass wedges," *Opt. Express* **20**, 688–697 (2012).
14. M. Miranda, C. L. Arnold, T. Fordell, F. Silva, B. Alonso, R. Weigand, A. L'Huillier, H. Crespo, "Characterization of broadband few-cycle laser pulses with the d-scan technique," *Opt. Express* **20**, 18732–18743 (2012).
15. M. Miranda, J. Penedones, C. Guo, A. Harth, M. Louisy, L. Neoričić, A. L'Huillier, C. L. Arnold, "Fast iterative retrieval algorithm for ultrashort pulse characterization  
35 using dispersion scans," *J. Opt. Soc. Am. B* **34**, 190–197 (2017).

16. B. Alonso, Í. J. Sola, H. Crespo, "Self-calibrating d-scan: Measuring ultrashort laser pulses on-Target using an arbitrary pulse compressor," *Sci. Rep.* **8**, 3264 (2018).
- 5 17. E. Escoto, A. Tajalli, T. Nagy, G. Steinmeyer, "Advanced phase retrieval for dispersion scan: a comparative study," *J. Opt. Soc. Am. B* **35**, 8–19 (2018).
18. V. Loriot, G. Gitzinger, N. Forget, "Self-referenced characterization of femtosecond laser pulses by chirp scan," *Opt. Express* **21**, 24879 (2013).
- 10 19. B. Alonso Fernández, Í. J. Sola Larrañaga, H. M. Paiva Rebelo Cerejo Crespo, "Method and system for characterization and compression of ultrashort pulses. WO/2019/003102," (2017).



REIVINDICACIONES

1.- Un método para la caracterización temporal y espectral de la amplitud y fase de pulsos láser ultracortos, que comprende:

- 5           - una etapa de manipulación del pulso, que comprende los pasos de:
- crear al menos dos réplicas (21) de un pulso de entrada (1) a caracterizar, con un retraso temporal entre ellas, teniendo las al menos dos réplicas (21) una amplitud relativa;
  - variar la amplitud relativa de las al menos dos réplicas (21), entre un límite inferior y un límite superior, para obtener un rango de amplitudes relativas de las al menos dos réplicas (21);
- 10           - una etapa no lineal, que comprende los pasos de:
- aplicar un proceso no lineal a las al menos dos réplicas (21), obteniendo una señal no lineal (31) para cada valor de las amplitudes relativas de las al menos dos réplicas (21);
- 15           - una etapa de detección, que comprende los pasos de:
- medir y adquirir un espectro de cada señal no lineal (31), obteniendo una traza bidimensional;
- 20           - una etapa de procesamiento y reconstrucción, que comprende los pasos de:
- recuperar la amplitud y la fase temporal y espectral del pulso de entrada (1), aplicando un algoritmo al espectro de la señal no lineal (31) bidimensional.

25           2.- El método de la reivindicación 1, que adicionalmente comprende el paso de medir y adquirir el espectro (amplitud) del pulso de entrada (1) para ser usado en la etapa de procesamiento y reconstrucción.

30           3.- El método de la reivindicación 1, en el que la variación de la amplitud relativa de las al menos dos réplicas (21) puede estar en el módulo de la amplitud o en el módulo y fase de la amplitud compleja.

35           4.- El método de la reivindicación 1, que además comprende el paso de superponer los espectros de la señal no lineal (31) de las al menos dos réplicas (21) con una parte remanente intencionalmente no filtrada del pulso de entrada (1) o de la señal lineal de las al menos dos réplicas (21), y su uso para calcular la fase absoluta (fase envolvente-portadora) del pulso de entrada (1).

5.- El método de la reivindicación 1, en el que se mide el espectro lineal de las al menos dos réplicas (21) en función de sus amplitudes variables, para ser utilizado en la etapa de procesamiento y reconstrucción.

5 6.- Un sistema para la caracterización de pulsos ultracortos, que utiliza el método de la reivindicación 1, caracterizado porque comprende:

- medios (2) para crear al menos dos réplicas (21) de un pulso de entrada (1), variando su amplitud relativa y obteniendo un rango de amplitudes relativas,
- un medio no lineal (3), asociado a los medios (2) para crear las al menos dos réplicas (21), que obtiene una señal no lineal (31) para cada amplitud relativa de las al menos dos réplicas (21), y
- medios de análisis (4), asociados al medio no lineal (3), para medir y caracterizar espectralmente cada señal no lineal (31).

15 7.- El sistema de la reivindicación 6, que además comprende un primer elemento óptico (6), colocado entre los medios (2) para crear al menos dos réplicas (21) y el medio no lineal (3).

20 8.- El sistema de la reivindicación 6, que comprende adicionalmente un elemento de filtrado (7) colocado entre el medio no lineal (3) y los medios de análisis (4).

9.- El sistema de la reivindicación 6, que comprende adicionalmente un segundo elemento óptico (8), colocado entre el medio no lineal (3) y los medios de análisis (4).

25 10.- El sistema de la reivindicación 6, que además comprende una unidad de análisis numérico (5) con un procesador electrónico de datos, asociado a los medios de análisis (4), destinado a calcular la amplitud y fase espectral y temporal del pulso de entrada (1).

30 11.- El sistema de la reivindicación 6, que comprende además medios de análisis adicionales (9), asociados al pulso de entrada (1) y a la unidad de análisis numérico (5), destinados a medir la amplitud espectral del pulso de entrada (1).

35 12.- El sistema de la reivindicación 6, que comprende además medios de análisis adicionales (9), asociados a los medios (2) para crear las al menos dos réplicas (21) del pulso de entrada (1) y a la unidad de análisis numérico (5), destinado a medir el espectro de las dos o más réplicas (21) en función de las amplitudes relativas variables.

13.- El sistema de la reivindicación 6, en el que los medios (2) para crear las al menos dos réplicas (21) comprenden un elemento birrefringente móvil, un conjunto de elementos anisótropos y un elemento polarizador o conjunto de elementos polarizadores.

5 14.- El sistema de la reivindicación 6, en el que los medios (2) para crear las al menos dos  
10 réplicas (21) comprenden un conjunto estático de componentes ópticos, como cuñas birrefringentes, elementos anisótropos y elementos polarizadores, destinados a introducir la variación de la amplitud relativa entre las al menos dos réplicas (21) con respecto a una coordenada espacial, siendo compatible con los medios de análisis (4) que operan en una sola adquisición (con un solo disparo láser o un promedio de múltiples disparos).

15.- El sistema de la reivindicación 6, en el que los medios (2) para crear las al menos dos réplicas (21) comprenden un interferómetro o un dispositivo acusto-óptico.



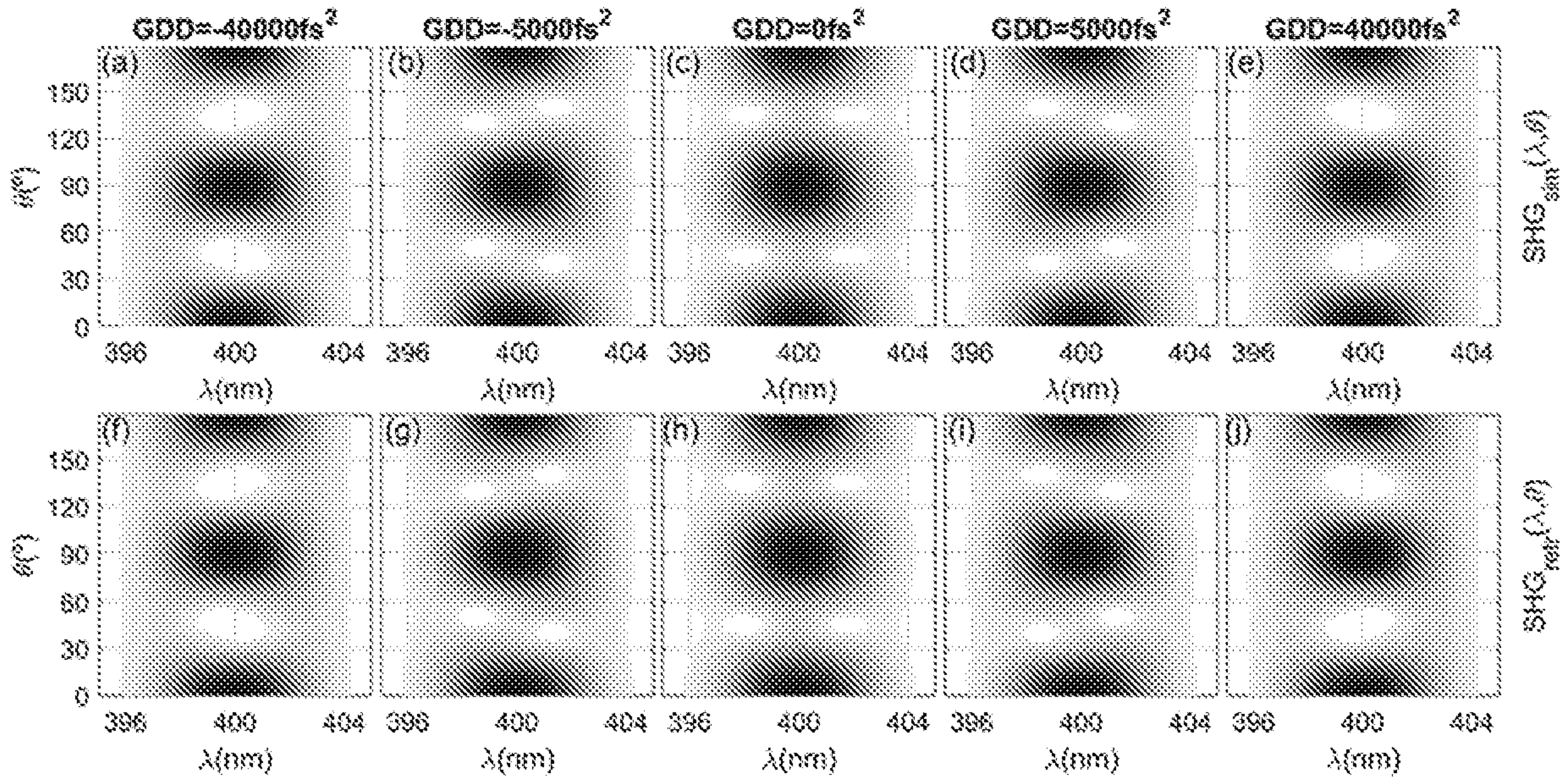


FIG. 1

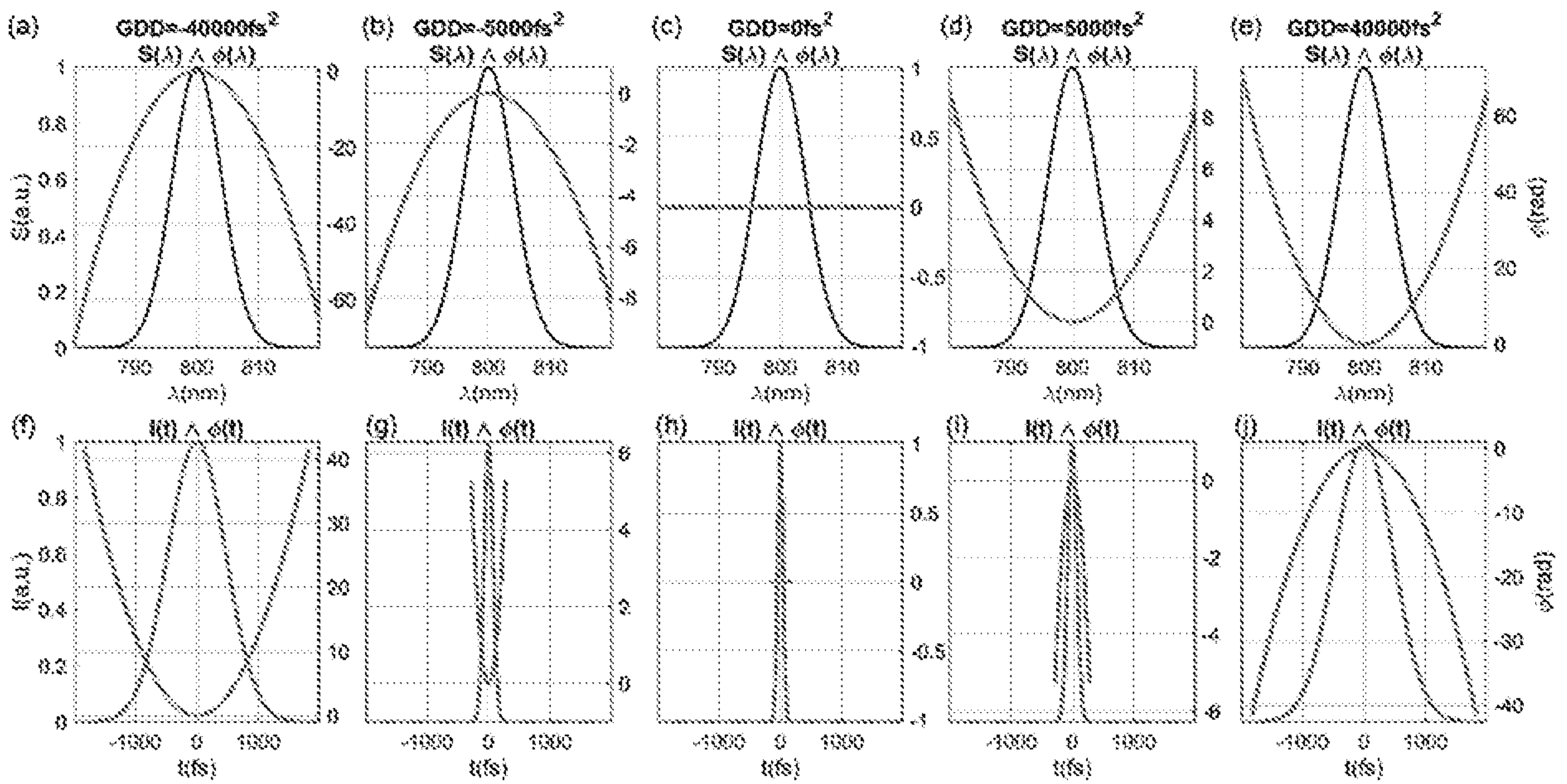


FIG. 2

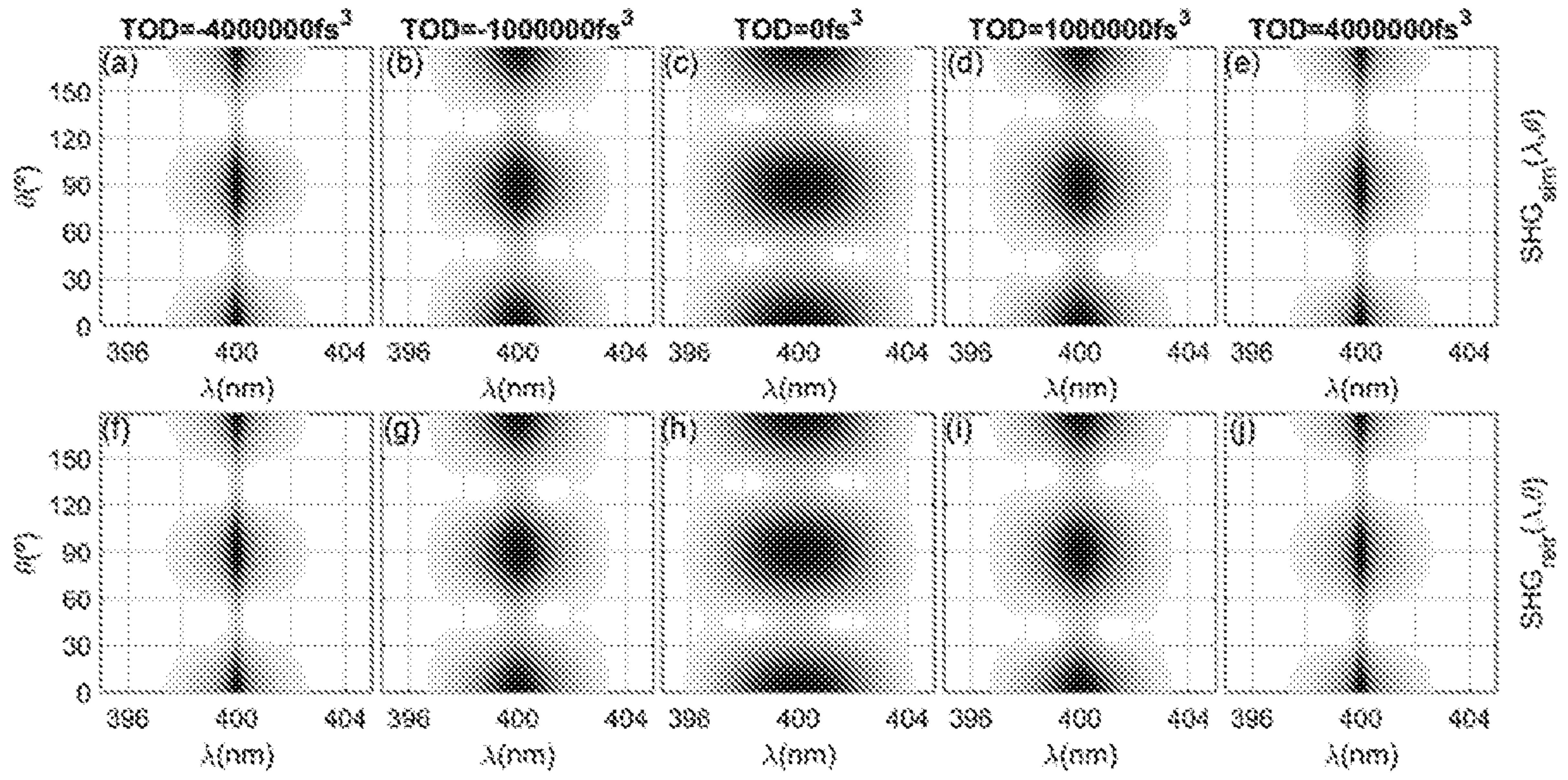


FIG. 3

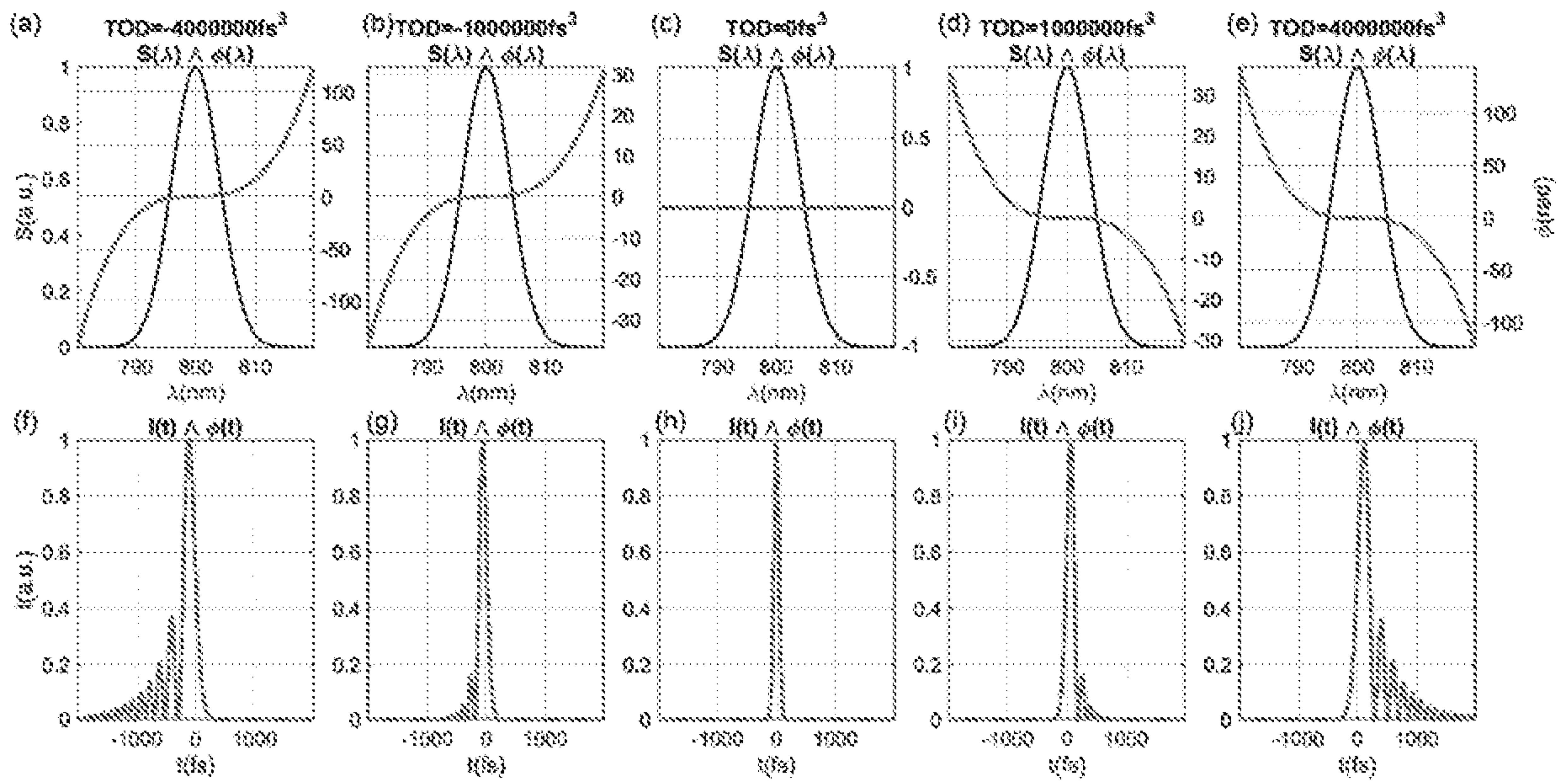


FIG. 4



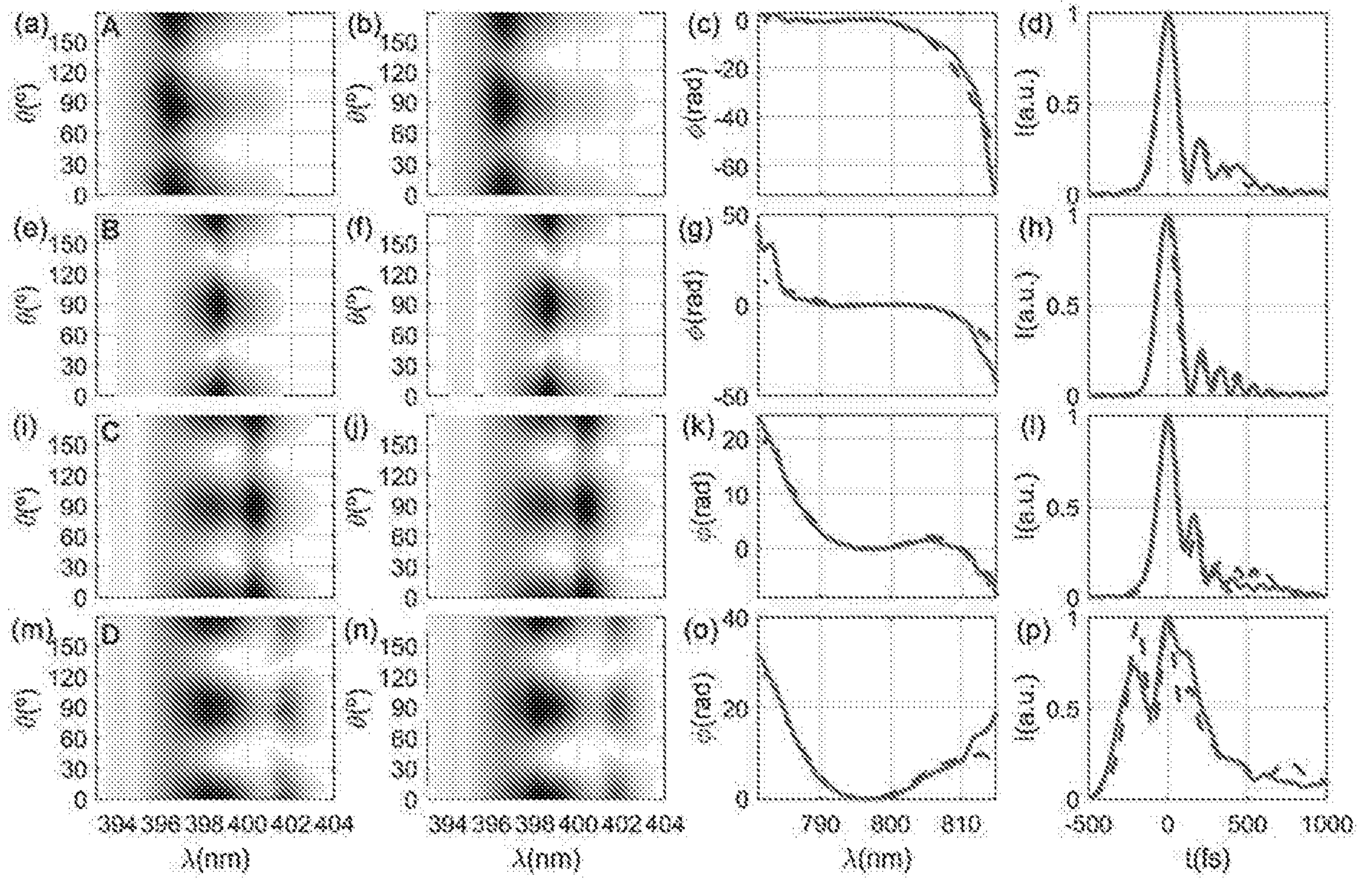


FIG. 5

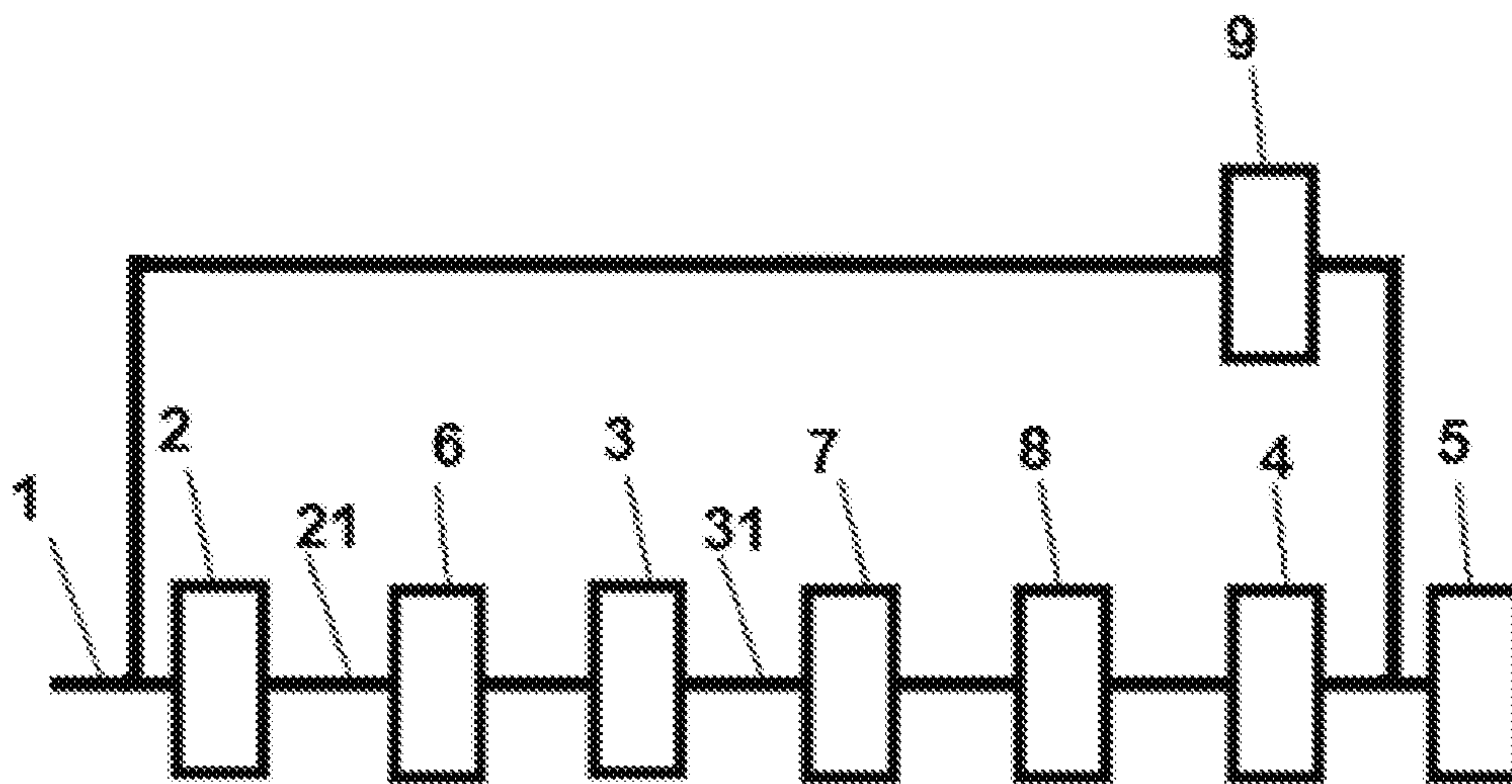


FIG. 6



# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/ES2020/070798

## A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

INV. G01J11/00 H01S3/00

ADD.

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

## B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01S G01J

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados) EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

## C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
X	BALTUSKA A ET AL: "Ultrashort pulse characterization by interferometric spectral cross-convolution" , TECHNICAL DIGEST / CLEO/PACIFIC RIM 2001, THE 4TH PACIFIC RIM CONFERENCE ON LASERS AND ELECTRO-OPTICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, 15 de Julio de 2001 (2001-07-15), page II, XP032406636, DOI: 10.1109/CLEOPR.2001.971164 ISBN: 978-0-7803-6738-8	1-15
Y	paginas II -724,col. izquierda., párrafo 1 - páginas II -725, col. derecha, párrafo 5; figuras 1,2 ----- -/--	15

En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos  Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo

* Categorías especiales de documentos citados: "A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante. "E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior. "L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada). "O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio. "P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención. "X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado. "Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia. "&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
---	---

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional. <b>25 March 2021</b>	Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional <b>07/04/2021</b>
---	--

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional <b>European Patent Office,</b>	Funcionario autorizado
N° de fax	N° de teléfono

C (continuación).		DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES
Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
Y	<p>AZZAM ET AL: "Polarization Michelson interferometer (POLMINT): its use for polarization modulation and temporal pulse shearing" , OPTICS COMMUNICATIONS, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol . 98, no. 1-3, 15 de Abril 1993 (1993-04-15), páginas 19-23, XP024646720, ISSN: 0030-4018, DOI: 10 - 1016/0030-4018 (93)90751-P [recuperado el 1993-04-15] página 19, col. izquierda, párrafo 2 - página 23, col. izquierda, párrafo 3; figuras 1,2 -----</p>	15
X,P	<p>ALONSO BENJAMIN ET AL: "Compact in-line temporal measurement of laser pulses with amplitude swing", ηΡΤΤΤς ρΧΡΡΡςς vol. 28, no. 10, 8 de Mayo de 2020 (2020-05-08), page 15625, XP55789795, DOI : 10.1364/OE.386321 Recuperado de: Internet: URL:https://www.osapubli shing.org/DirectPD FAccess/7CDC0FB2-48DA-45DD-A87F7555BDCE814 6_431618/oe-28- 10- 15625. pdf ?da=l&amp;id=431618 &amp;seq=0&amp;mobi le=no&gt; página 15626, párrafo 4 - página 15634, párrafo 2; figuras 1-5 -----</p>	1-13

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No PCT/ES2020/070798
---

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 INV. G01J11/00 H01S3/00  
 ADD.  
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**  
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 H01S G01J  
 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
 EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BALTUSKA A ET AL: "Ultrashort pulse characterization by interferometric spectral cross-convolution", TECHNICAL DIGEST / CLEO/PACIFIC RIM 2001, THE 4TH PACIFIC RIM CONFERENCE ON LASERS AND ELECTRO-OPTICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, 15 July 2001 (2001-07-15), page II, XP032406636, DOI: 10.1109/CLEOPR.2001.971164 ISBN: 978-0-7803-6738-8	1-15
Y	pages II-724, left-hand column, paragraph 1 - pages II-725, right-hand column, paragraph 5; figures 1,2 ----- -/--	15

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  25 March 2021	Date of mailing of the international search report  07/04/2021
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Laenen, Robert
--	--



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/ES2020/070798

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>AZZAM ET AL: "Polarization Michelson interferometer (POLMINT): its use for polarization modulation and temporal pulse shearing",  OPTICS COMMUNICATIONS, ELSEVIER,  AMSTERDAM, NL,  vol. 98, no. 1-3,  15 April 1993 (1993-04-15), pages 19-23,  XP024646720,  ISSN: 0030-4018, DOI:  10.1016/0030-4018(93)90751-P  [retrieved on 1993-04-15]  page 19, left-hand column, paragraph 2 -  page 23, left-hand column, paragraph 3;  figures 1,2</p>	15
X,P	<p>-----  ALONSO BENJAMÍN ET AL: "Compact in-line temporal measurement of laser pulses with amplitude swing",  OPTICS EXPRESS,  vol. 28, no. 10, 8 May 2020 (2020-05-08),  page 15625, XP55789795,  DOI: 10.1364/OE.386321  Retrieved from the Internet:  URL:https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/7CDC0FB2-48DA-45DD-A87F7555BDCE8146_431618/oe-28-10-15625.pdf?da=1&amp;id=431618&amp;seq=0&amp;mobile=no&gt;  page 15626, paragraph 4 - page 15634,  paragraph 2; figures 1-5  -----</p>	1-13