

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 411 480**

51 Int. Cl.:

A61F 9/008 (2006.01)

B23K 26/06 (2006.01)

B23K 26/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2006 E 06005318 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2013 EP 1834616**

54 Título: **Programa de control para el control temporal y espacial de impulsos láser**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.07.2013

73 Titular/es:

**WAVELIGHT GMBH (100.0%)
AM WOLFSMANTEL 5
91058 ERLANGEN, DE**

72 Inventor/es:

MROCHEN, MICHAEL

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 411 480 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

Programa de control para el control temporal y espacial de impulsos láser.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la generación de un programa de control destinado al control temporal y espacial de impulsos láser que deben ser posicionados, en correspondencia con una forma objetivo o superficie objetivo, en un material que hay que tratar, o sobre el mismo.

10 En el tratamiento del material se utilizan de forma diversa sistemas láser pulsados, con el fin de conseguir variaciones sobre el material o en el mismo. A continuación se selecciona, a título de ejemplo para un tratamiento del material de este tipo, una aplicación en el campo de la oftalmología, para la cual es especialmente adecuada la presente invención.

15 La córnea del ojo humano puede ser conformada de nuevo, como es conocido, con impulsos láser en el rango del UV. En especial, se conoce el procedimiento LASIK.

20 En este procedimiento, se controlan por ejemplo impulsos láser espacial y temporalmente mediante un ordenador, de tal manera que un gran número de pulsos son posicionados, unos junto a otros, sobre el material o en el mismo. Estos efectos de los impulsos láser en los lugares de su posicionamiento, teniendo lugar el posicionamiento por ejemplo mediante enfoque, son de tipo distinto. En la tecnología LASIK se conocen, por ejemplo, los efectos fotodisruptivos y los efectos ablativos de los impulsos láser. Los efectos fotodisruptivos de los impulsos láser se aprovechan por ejemplo al cortar un "Flap" (tapita) en la córnea. Para ello, se posicionan impulsos láser, con longitudes de pulso en el rango de los femtosegundos (es decir, menores que un picosegundo), en el tejido de la

25 córnea uno tras otro temporal y espacialmente de tal manera que el efecto fotodisruptivo corte finalmente un Flap del tejido de la córnea. En esta técnica no se necesita un microqueratomo mecánico.

30 Un efecto fotoablativo se utiliza en el procedimiento LASIK en una segunda etapa. En esta etapa, se abate en primer lugar hacia el lado, sobre el punto de articulación, el Flap generado como se ha descrito anteriormente y acto seguido se conducen los puntos de luz del rayo láser, controlados por ordenador, punto a punto por encima del estroma puesto al descubierto de la córnea, con el fin de retirar tejido de la córnea y conferir de este modo una nueva forma, tras el abatimiento de vuelta del Flap de la córnea, con la cual se eliminan o por lo menos se reducen las distorsiones de la imagen y aberraciones de grado superior existentes con anterioridad.

35 En el procesamiento del material se conocen también, por ejemplo, los efectos fototérmicos de los impulsos láser posicionados, con el fin de conseguir, por ejemplo, transformaciones de material.

40 Las técnicas diseñadas con anterioridad tienen en común que los impulsos láser son controlados con un ordenador, temporal y espacialmente, en el material que hay que tratar o sobre el mismo. El control espacial tiene lugar, por ejemplo, a través de un espejo móvil de acuerdo con el principio del galvanómetro. Esto es como tal conocido para el experto en la materia.

45 Si se posicionan impulsos láser, en especial se enfocan, de la manera arriba descrita en un material, por ejemplo en el tejido de la córnea para la generación de un Flap, entonces los puntos individuales, en los cuales se aplican los impulsos láser, dependen de la zona de acción de la radiación láser en el material. Si, por ejemplo, un láser determinado tiene un efecto fotodisruptivo en el tejido de la córnea en una zona de varios micrómetros, entonces se sitúan los impulsos láser unos junto a otros, típicamente, a distancias con el mismo orden de magnitud para generar finalmente, mediante el efecto fotodisruptivo, un corte relativamente liso. Las finalidades son al mismo tiempo en especial: 1. un solapamiento suficiente y adecuado de zonas de acción de los impulsos láser individuales enfocados; 2. una fácil posibilidad de separación del material tras la formación del corte; 3. una superficie de corte lisa; 4. que no haya efectos térmicos secundarios; 5. una generación rápida del corte. Para facilitar todas estas finalidades, en parte

50 contrapuestas, tiene lugar una optimización de las posiciones de los focos de los pulsos individuales unas con respecto a las otras. Al mismo tiempo el efecto de los impulsos láser puede depender de la dirección, dependiendo de las propiedades de la radiación láser y de su enfoque y de las propiedades del material. Por ejemplo, la extensión del efecto de un impulso láser en su dirección de radiación puede ser mayor que perpendicularmente con respecto a ella.

55

60 El documento US 2003/0023233 A1 describe un procedimiento para en especial la ablación de las córnea del ojo, en el cual el volumen que hay que retirar es subdividido en discos horizontales y, acto seguido, se comprueba si los puntos de una rejilla uniforme están situados en estos discos. No tiene lugar una adaptación de las constantes de rejilla al efecto anisótropo del láser.

El documento US 2003/0069566 A1 describe la ablación del tejido de la córnea mediante la utilización de polinomios de grado superior para la generación de superficies de corte lisas.

65 El documento DE 10334109 describe el cálculo de un corte lenticular mediante transformación de las superficies de corte en una rejilla bidimensional.

La invención se plantea el problema de reducir la complejidad de cálculo durante la generación de un programa de control del tipo mencionado al principio con una calidad de ablación elevada.

5 La solución según la invención de este problema está descrita en la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se escriben estructuraciones ventajosas.

La invención proporciona por lo tanto un planteamiento matemático para la generación de un programa de control para un propósito físico concreto, es decir la generación de formas o superficies objetivo en un material. Con respecto a la técnica LASIK esto significa, por ejemplo, que con el programa de control se pueden enfocar impulsos láser de femtosegundos en el tejido de la córnea y se puede variar, pulso a pulso, de tal manera el lugar de dicho enfoque que se corte de forma fotodisruptiva un Flap (como forma objetivo). Esto es válido, de manera análoga, para otras utilizaciones de radiación láser, por ejemplo la ablación mencionada más arriba o también transformaciones térmicas sobre o en los materiales, por ejemplo en aplicaciones que no sean médicas.

15 Si la zona de acción conseguida por cada impulso láser depende de la dirección sobre o en el material, la invención, según la cual la rejilla de puntos tiene en la dirección de los impulsos láser una constante de rejilla diferente que en una dirección perpendicular a ella, enseña una generación especialmente elegante (sencilla) del programa de control.

20 Una rejilla especialmente adecuada para los propósitos mencionados es la rejilla hexagonal.

A continuación, se explican con mayor detalle ejemplos de formas de realización de la invención sobre la base de los dibujos, en los que:

25 la Figura 1 muestra una estructura de rejilla hexagonal esquemática con constantes de rejilla;

la Figura 2 muestra una superficie de una estructura espacial hexagonal para la definición de puntos, y

30 las Figuras 3 y 4 muestran unos ejemplos de formas de realización para la determinación de posiciones de disparo de impulsos láser con respecto a una rejilla hexagonal.

La Figura 1 muestra una rejilla hexagonal. A continuación se utilizan coordenadas cartesianas x , y , z , siendo la dirección de la radiación láser paralela al eje z . El eje z es perpendicular al plano x - y . Si hay que tratar tejido de la córnea mediante radiación láser entonces se designa como plano x - y , como es en general habitual, el plano horizontal de la córnea con respecto al cual el eje óptico de la córnea es aproximadamente vertical. La radiación láser incide entonces, aproximadamente de forma vertical con respecto al plano x - y , sobre la córnea.

35 Las Figuras 1 y 2 muestran las designaciones utilizadas aquí. La Figura 1 muestra tres planos en la dirección del eje z , designados mediante z_n , z_{n+1} y z_{n+2} . La distancia entre los planos es ΔS_v (v indica vertical). La rejilla hexagonal, de la cual en la Figura 1 está representada una celda, tiene 6 puntos en el plano superior de la celda. Para del plano inferior se cumple lo correspondiente. Entre ellas están situados tres puntos de rejilla en un plano central. La distancia entre el plano central y uno de los planos inferior o superior se designa aquí como "constante de rejilla". La distancia es ΔS_v .

45 La Figura 2 muestra una vista superior (en la dirección del eje z según la Figura 1) sobre la estructura de rejilla y la designación de los puntos en el plano de rejilla z_n . La constante de rejilla en dirección horizontal es la distancia entre puntos contiguos y se designa mediante ΔS_h .

50 La zona de acción de la radiación láser puede ser diferente en las diferentes direcciones del espacio x , y , z . Se pueden seleccionar, correspondientemente, diferentes distancias entre puntos de rejilla en la direcciones dependiendo de los radios de acción de la radiación láser en estas direcciones. Típicamente, el radio de acción en la dirección z será diferente de los radios de acción en el plano x - y . Las distancias de rejilla ΔS_v y ΔS_h se pueden seleccionar correspondientemente.

55 En caso de generación del programa de control para el control temporal y espacial de impulsos láser sucesivos, que hay que situar sobre o en el material, se toma como base la estructura hexagonal espacial según las Figuras 1 y 2, es decir que los puntos de rejilla espaciales son los puntos en los cuales se posiciona, por ejemplo, el foco de los impulsos láser.

60 Si para la utilización en la cirugía ocular refractiva hay que establecer, por ejemplo para la generación de un Flap, la forma del Flap y hay que generar entonces correspondientemente el programa de control para los impulsos láser, esto puede llevarse a cabo matemáticamente en coordenadas cilíndricas, esféricas o cartesianas.

65 En una utilización clínica o técnica se hace discreto entonces el espacio de acuerdo con los puntos de rejilla, por ejemplo según una rejilla espacial hexagonal. Los puntos de rejilla corresponden a las posiciones de disparo láser. El control temporal por parte del ordenador corresponde a la tasa de repetición del láser pulsado.

5 Como forma objetivo o superficie objetivo se entiende aquí la forma que hay que cortar en el material, por ejemplo la córnea, por ejemplo un Flap (tapa) para utilizaciones en la técnica láser. Tomando como base la rejilla se determinan ahora las posiciones de disparo láser (puntos de rejilla) las cuales reproducen de la mejor manera la forma objetivo predefinida (que se puede designar también como forma teórica).

10 Esto está representado para el plano en la Figura 3. La Figura 3 muestra el plano x-y de la rejilla, en el cual los puntos de rejilla están representados como círculos sin relleno. Los círculos con relleno son los puntos de rejilla elegidos los cuales describen de la mejor manera la forma objetivo (aquí un círculo). Para la explicación del principio se ha elegido la constante de rejilla muy grande en la Figura 3 y, correspondientemente, la adaptación de los puntos de rejilla elegidos a la forma objetivo es relativamente basta. Ya una reducción de la constante de rejilla a la mitad daría lugar a una coincidencia mucho mejor entre la forma objetivo y los puntos de rejilla elegidos. La representación según la Figura 3 está limitada al plano. La extensión al espacio de 3 dimensiones tiene lugar de forma análoga.

15 La Figura 4 muestra un ejemplo de forma de realización con una resolución aumentada mediante la reducción de las constantes de rejilla. La forma objetivo es circular. Los puntos de rejilla están representados de nuevo mediante círculos vacíos, estando rellenos estos puntos de rejilla, los cuales se han elegido para la adaptación a la forma objetivo, en cada caso con una estrellita. La coincidencia con la forma objetiva es clara.

20 La predefinición de la rejilla y en especial de las constantes de rejilla así como la elección de puntos adecuados de la rejilla espacial depende de la forma objetivo y de la calidad de corte deseada. La calidad de corte corresponde a la exactitud con la cual los puntos de rejilla reproducen la forma objetivo. Como medida para la calidad de corte se puede utilizar, por ejemplo, la desviación cuadrática media de los puntos de rejilla espacial con respecto a la forma objetivo (o superficie objetivo) definida matemáticamente.

25 Otro criterio de evaluación para la calidad de corte puede utilizar, por ejemplo, el radio de acción de los disparos láser individuales. Cuanto menor sea el radio de acción, respectivamente la dependencia con respecto a la dirección, tanto más fina hay que seleccionar, por regla general, la rejilla espacial, es decir que tanto menor debe ser la constante de rejilla. En correspondencia aumenta la complejidad de cálculo. La calidad de corte da, en último término, una determinada rugosidad u ondulación de las superficies generadas.

30 En caso de enfoque de la radiación láser en el material, por ejemplo para el aprovechamiento de efectos fotodisruptivos, se forman en determinados materiales, como por ejemplo la córnea, burbujitas (cavitaciones). Las burbujitas de cavitación de este tipo tienen una duración la cual, por regla general, es claramente más larga que el intervalo temporal entre dos impulsos láser consecutivos. Si se enfoca por ello un impulso láser consecutivo en una burbujita de cavitación de este tipo pueden producirse efectos altamente indeseados. Por ello, los disparos láser temporalmente consecutivos no se sitúan en puntos de rejilla contiguos sino en puntos de rejilla más alejados, de tal manera que no aparezcan perturbaciones indeseadas por burbujitas de cavitación. Globalmente, se procesan sin embargo todos los puntos elegidos de la rejilla espacial, los cuales reproducen la forma objetivo, es decir que en todos los puntos del espacio elegidos se sitúa un impulso láser. De forma alternativa al control a distancia descrito con anterioridad de los puntos de rejilla, es posible también variar la constante de rejilla para evitar perturbaciones por burbujitas de cavitación.

45 El algoritmo para la generación del programa de control para el control temporal y espacial de los impulsos láser tiene la siguiente secuencia temporal:

50 En primer lugar se define matemáticamente la forma objetivo, la cual debe ser cortada con los impulsos láser. Esto puede tener lugar mediante una expresión analítica o numérica. Acto seguido se predefine la rejilla espacial, por ejemplo la rejilla espacial hexagonal, mediante determinadas constantes de rejilla en la dirección del eje z (ΔS_z) y en el plano x-y (ΔS_H). Estas constantes de rejilla se eligen dependiendo del grado de acción de los impulsos láser, de la geometría de la forma objetivo y de la calidad de corte deseada.

55 Acto seguido, se determinan los puntos de rejilla espacial los cuales reproducen de la mejor manera la forma objetivo (la forma objetivo puede ser también bidimensional).

Acto seguido, tiene lugar la evaluación de la calidad de corte y de si satisface los criterios predefinidos con respecto a la calidad de corte y al tiempo de corte, es decir que se analiza la coincidencia entre los puntos especiales elegidos y la forma objetivo.

60 Acto seguido se define el desarrollo temporal de los impulsos láser sucesivos dependiendo del lugar, por ejemplo con el fin de evitar los problemas por cavitación mencionados más arriba.

65 El programa de control se genera entonces de forma correspondiente. El programa de control se transfiere entonces a un sistema láser mediante una unidad de exploración x-y-z y, de acuerdo con él, tiene lugar el procesamiento del programa de control con impulsos láser, controlados temporal y espacialmente, para la generación de la forma objetivo en el material.

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para la generación de un programa de control destinado al control temporal y espacial de impulsos láser que deben ser enfocados y posicionados en correspondencia con una forma objetivo o superficie objetivo en un material que hay que tratar, o sobre el mismo

que comprende las siguientes etapas:

- 10
- predefinir una rejilla de puntos con constantes de rejilla predefinidas,
 - seleccionar aquellos puntos de rejilla que den lugar a una coincidencia con la forma objetivo o superficie objetivo, según un criterio de coincidencia predefinido,
 - establecer que los impulsos láser deben ser posicionados según los puntos de rejilla seleccionados,

15 siendo las constantes de rejilla seleccionadas en función de un radio de acción fotodisruptivo, dependiente de la dirección, de los impulsos láser en el material,

caracterizado porque en la dirección de impulsos láser, la rejilla de puntos tiene una constante de rejilla que es distinta a la constante de rejilla en la dirección perpendicular a ella.

20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la rejilla de puntos es hexagonal.

Fig. 1

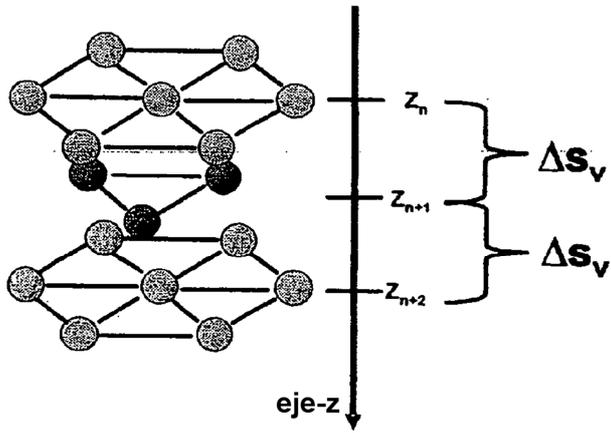


Fig. 2

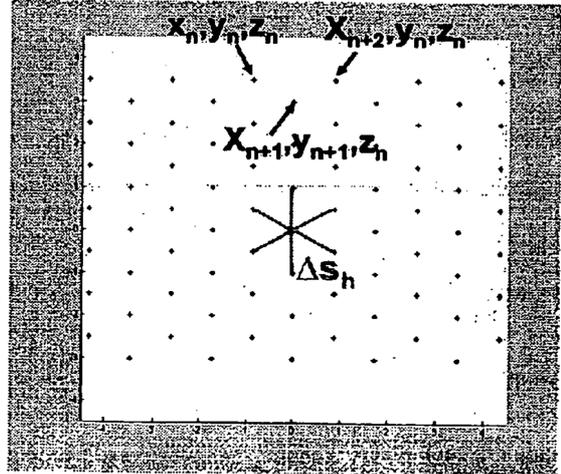


Fig. 3

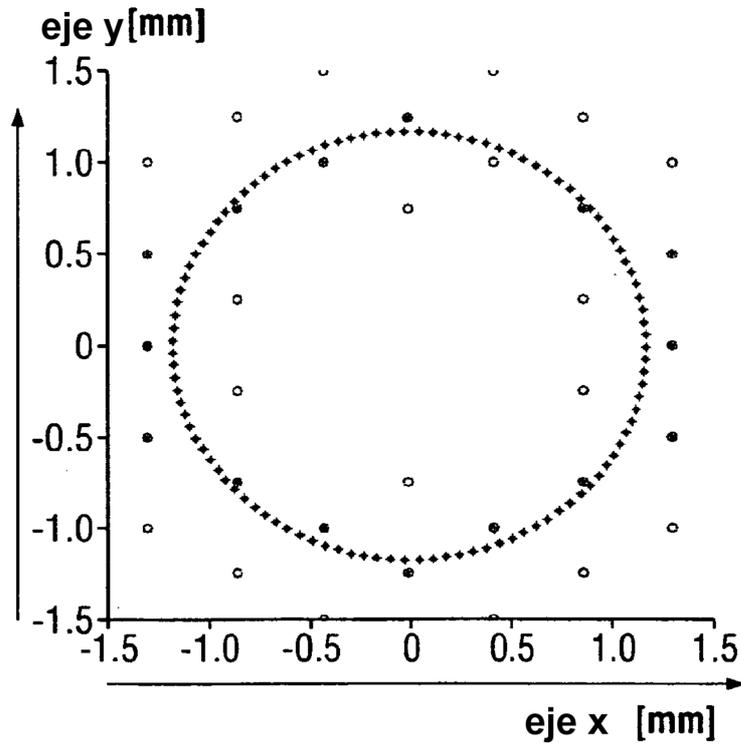


Fig. 4

