(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 865 411**

(51) Int. CI.:

A61B 18/20 (2006.01)
B23K 26/06 (2014.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2014 E 14194452 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.01.2021 EP 3023073**

(54) Título: **Sistema láser para ablación de tejidos**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.10.2021

(73) Titular/es:

FOTONA D.O.O. (100.0%)
Stegne 7
1000 Ljubljana, SI

(72) Inventor/es:

MARINCEK, MARKO;
NENDL, JANKO;
MATJAZ, MOCNIK y
MATJAZ, LUKAC

(74) Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

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

Sistema láser para ablación de tejidos

[0001] La presente invención se refiere a un sistema de láser pulsado para la ablación de tejidos.

Antecedentes técnicos

[0002] En el campo de la medicina, la odontología o similares, los láseres pulsados se usan para la retirada de tejidos corporales duros y blandos tales como esmalte dental, dentina, material óseo, piel y mucosas. La retirada de material en la ablación de tejido se basa en una absorción pronunciada del pulso láser temporalmente limitado en el tejido sometido a ablación. La absorción del láser da lugar a un calentamiento local con una evaporación repentina que provoca la retirada de material. Los sistemas para la ablación de tejidos que usan láseres pulsados se describen, por ejemplo, en la publicación WO 03/072189.

[0003] Dependiendo de la intensidad del láser I (potencia óptica por unidad de área), se pueden encontrar dos regímenes de ablación distintos en la ablación con láser pulsado. A bajas intensidades, la velocidad de ablación es menor que la velocidad a la que el calor generado por láser se difunde desde el área de la superficie ablación más profundamente en el tejido. En este régimen, la capa de tejido influenciada térmicamente que no se somete a ablación al final del pulso láser es relativamente gruesa. Para la mayoría de los procedimientos médicos, este régimen "caliente" no es deseable, ya que puede resultar en necrosis tisular térmica.

[0004] Sin embargo, a altas intensidades de láser, el frente de ablación avanza en el tejido más rápido que la difusión de calor. En este régimen "frío", la mayor parte del tejido precalentado finalmente se somete a ablación al final del pulso, y la cantidad de calor restante que se deposita dentro del tejido es baja.

[0005] Se debe apreciar que para la misma energía de pulso láser, los pulsos largos tienen menor intensidad y, por lo tanto, realizan la ablación en el régimen "caliente", mientras que los pulsos cortos tienen alta intensidad y realizan la ablación en el régimen "frío" clínicamente deseable.

[0006] La evaporación repentina del material generada por pulsos láser individuales también da como resultado una nube de gases, líquidos y partículas sólidas retirados (en adelante también denominados "desechos", "nube de desechos", "partículas de desechos" o "partículas de nube") por encima del localización tratada, en la que la nube se empieza a formar inmediatamente después del inicio de cada pulso láser e interactúa con la luz que incide hasta el final del pulso láser. Cuando el pulso individual incide en la nube de desechos mencionada anteriormente, las partículas de nube se calientan rápidamente hasta temperaturas muy altas, lo que a veces da lugar a la formación de plasma dentro de los gases y el aire circundantes. Como resultado, la ablación con láser pulsado típicamente va acompañada de la emisión indeseable de luz UV y visible de alta intensidad desde el área de la nube de desechos. Adicionalmente, la rápida absorción de la luz láser en la nube de desechos potencia el olor a quemado y el sonido de estallido que normalmente acompañan a la ablación con láser pulsado. Además, a medida que la nube de desechos calentada con láser vuelve a caer sobre la superficie del tejido, contribuye al calentamiento del tejido. Todos estos efectos acompañantes son desagradables y potencialmente peligrosos para el médico y el paciente.

[0007] El tamaño de la nube de desechos y, por tanto, los efectos indeseables descritos anteriormente se pueden reducir hasta cierto punto suministrando energía láser con pulsos de duración más larga. Aquí, "tamaño de la nube de desechos" significa la cantidad de partículas de desechos que el rayo láser debe atravesar para alcanzar la región tratada del tejido (la cantidad de partículas de desechos se puede medir en moles o gramos). Con pulsos láser de duración más larga, tanto el tamaño de la nube de desechos como la intensidad de la luz láser que incide son menores y, en consecuencia, se reducen los efectos indeseables de la interacción de la luz láser con la nube de desechos.

[0008] En conclusión, cuanto más cortos e intensos son los pulsos, menos calor indeseable permanece depositado dentro del tejido tratado, después de finalizar el pulso. Típicamente, se usan pulsos de menos de 350 microsegundos para lograr la ablación en el régimen frío. Por otro lado, los efectos indeseables de la interacción de la luz láser con la nube de desechos son mucho menos pronunciados con duraciones de pulso más largas (≥ 350 microsegundos) e intensidades de pulso más bajas.

[0009] La invención tiene el objetivo de desarrollar un sistema láser del tipo mencionado anteriormente que funciona con duraciones de pulso más largas (≥ 350 microsegundos) para lo cual se reducen considerablemente los efectos indeseables descritos anteriormente que resultan de la interacción de la luz láser pulsada con la nube de desechos, sin incrementar significativamente la cantidad de calor que permanece depositado dentro del tejido tratado.

Breve explicación de la invención

[0010] Este objetivo se resuelve mediante un sistema láser que tiene los rasgos característicos de la reivindicación 1.

[0011] De acuerdo con un aspecto, el sistema láser de la presente invención comprende una bomba, en la que el sistema láser funciona en funcionamiento pulsado de modo que se genera al menos un pulso individual de una duración de pulso temporalmente limitada (T_0), en el que el pulso somete a ablación un material de modo que se forma una nube de desechos por encima del material sometido a ablación; y en el que la potencia de bombeo de la bomba se modula de modo que se cumplen las siguientes tres condiciones:

(1) la intensidad del pulso oscila entre valores máximos y valores mínimos durante la duración del pulso, en el que el pulso láser comprende una pluralidad de máximos de intensidad I_{max} que se producen en los tiempos $\{T_i, i=1,... N\}$; y una pluralidad de mínimos de intensidad I_{min} que se producen en los tiempos $\{t_k, k=1,... (N-1)\}$ (en el que la intensidad no desaparece en los mínimos de intensidad); y

(2) las oscilaciones de intensidad del pulso láser inducen oscilaciones del tamaño de la nube de desechos de modo que, durante la duración del pulso (T_0), existen al menos dos máximos del tamaño de la nube de desechos que se producen en los tiempos $\{\tau_j, j=1,... M\}$ y que se localizan entre dos máximos de intensidad del pulso láser; y

(3) al menos el 70 por ciento de los máximos del tamaño de la nube de desechos se producen cerca de un mínimo de intensidad del pulso de modo que, para al menos el 70 por ciento de los máximos del tamaño de la nube de desechos, la intensidad del pulso $I(\tau j)$ en el tiempo del máximo del tamaño de la nube de desechos es menor que $I_{min}(t_k)+0,5 \times [I_{max}(T_i)-I_{min}(t_k)]$, en el que $I_{min}(t_k)$ es el mínimo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τj e Imax(Ti) es el máximo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j (es decir, $I_{min}(t_k)$ es el mínimo de intensidad del pulso para el cual, entre todos los mínimos de intensidad del pulso, el tiempo t_k correspondiente está más cerca del tiempo τj. Análogamente, $Imax(T_{i)}$ es el máximo de intensidad del pulso para el que, entre todos los máximos de intensidad del pulso, el tiempo T_i correspondiente está más cerca del tiempo $\tau_{j)}$.

[0012] Preferentemente, se mantiene para al menos el 90 por ciento de los máximos del tamaño de la nube de desechos que se producen cerca de un mínimo de intensidad del pulso, es decir, para al menos el 90 por ciento de los máximos del tamaño de la nube de desechos, la intensidad del pulso $I(\tau_j)$ en el tiempo del máximo del tamaño de la nube de desechos es menor que $I_{min}(t_k)+0,5 \times [I_{max}(T_i)-I_{min}(t_k)]$, en el que $I_{min}(t_k)$ es el mínimo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j e Imax (T_i) es el máximo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j.

[0013] Preferentemente, la intensidad del pulso láser $I(\tau_j)$ en el tiempo respectivo del máximo del tamaño de la nube de desechos es menor que $I_{min}(t_k)+0,35 \times [I_{max}(T_i)-I_{min}(t_k)]$, más preferentemente menor que $I_{min}(t_k)+0,2 \times [I_{max}(T_i)-I_{min}(t_k)]$ y lo más preferentemente menor que $I_{min}(t_k)+0,1 \times [I_{max}(T_i)- I_{min}(t_k)]$.

[0014] De acuerdo con otro aspecto, el sistema láser de la presente invención comprende una bomba, en la que el sistema láser está adaptado para funcionar en funcionamiento pulsado de modo que se genera al menos un pulso individual de una duración de pulso temporalmente limitada (T_0) y en el que el pulso somete a ablación un material de modo que se forma una nube de desechos por encima del material sometido a ablación, y en el que la potencia de bombeo de la bomba se modula de modo que se cumplen las siguientes tres condiciones:

(1) la intensidad del pulso oscila entre valores máximos y valores mínimos durante la duración del pulso, en el que el pulso láser comprende una pluralidad de máximos de intensidad que se producen en los tiempos $\{T_i, i=1,... N\}$; y una pluralidad de mínimos de intensidad que se producen en los tiempos $\{t_k, k=1,... (N-1)\}$ (en el que la intensidad no desaparece en los mínimos de intensidad);

(2) las oscilaciones de intensidad del pulso láser inducen oscilaciones del tamaño de la nube de desechos de modo que, durante la duración del pulso (T_0), existen al menos dos máximos del tamaño de la nube de desechos que se producen en los tiempos $\{\tau_j, j=1,... M\}$ y que se localizan entre dos mínimos del tamaño de la nube de desechos y entre dos máximos de intensidad del pulso láser; y

(3) al menos el 50 por ciento de los mínimos de intensidad del pulso se producen cerca de un máximo del tamaño de la nube de desechos, de modo que la diferencia de tiempo $|t_k-\tau_j|$ entre el mínimo de intensidad correspondiente en el tiempo t_k y el máximo cercano del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j es menor que $0,25 \times |T_{i+1}-T_i|$, en el que $|T_{i+1}-T_i|$ es la diferencia de tiempo entre los máximos de intensidad sucesivos del pulso láser que se localizan más cerca del tamaño máximo de la nube de desechos en el tiempo τ_j.

[0015] Preferentemente, se mantiene para el 70 por ciento de los mínimos de intensidad del pulso que la diferencia de tiempo $|t_k-\tau_j|$ entre el mínimo de intensidad en el tiempo t_k y el máximo cercano del tamaño de la nube

de desechos en el tiempo τ_j es menor que 0,25 x $|T_{i+1}-T_i|$, en el que $|T_{i+1}-T_i|$ es la diferencia de tiempo entre los máximos de intensidad sucesivos del pulso láser que se localizan más cerca del tamaño máximo de la nube de desechos en el tiempo τ_j. Más preferentemente, se mantiene para el 90 por ciento de los mínimos de intensidad del pulso que la diferencia de tiempo $|t_k-\tau_j|$ entre el mínimo de intensidad en el tiempo t_k y el máximo cercano del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j es menor que 0,25 x $|T_{i+1}-T_i|$.

[0016] Preferentemente, se mantiene para aquellos mínimos de intensidad del pulso que se producen cerca de un máximo del tamaño de la nube de desechos que la diferencia de tiempo $|t_k-\tau_j|$ entre el mínimo de intensidad en el tiempo t_k y el máximo cercano del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j es menor que 0,10 x $|T_{i+1}-T_i|$, en el que $|T_{i+1}-T_i|$ es la diferencia de tiempo entre los máximos de intensidad sucesivos del pulso láser que se localizan más cerca del tamaño máximo de la nube de desechos en el tiempo τ_j.

[0017] El sistema láser de acuerdo con la presente invención resuelve el conflicto descrito anteriormente de que los pulsos cortos minimizan la deposición de calor en el tejido tratado, mientras que los pulsos largos son ventajosos para la interacción del pulso láser con la nube de desechos. Por un lado, el pulso láser modulado que se genera por el sistema de láser de acuerdo con la presente invención tiene una duración global larga T_0 que contiene varios picos, en el que cada pico tiene una corta duración. Esta conformación puntiaguda del pulso láser mantiene baja la deposición de calor al tejido tratado, ya que, entre dos máximos del pulso láser, la intensidad disminuye a valores bajos, permitiendo por tanto que el tejido tratado se enfríe a temperaturas más bajas. Como consecuencia, se detiene el flujo de calor hacia el tejido debajo del área tratada y a los alrededores. Por otro lado, la interacción entre el pulso láser y la nube de desechos también se reduce para los pulsos láser modulados de acuerdo con la presente invención, ya que la intensidad del láser está cerca de los valores mínimos en aquellos tiempos en los que el tamaño de la nube de desechos se vuelve máximo.

[0018] Es bien conocido que los láseres pulsados exhiben picos de intensidad y oscilaciones de intensidad de "relajación", especialmente al comienzo de un pulso láser cuando el funcionamiento del láser excede abruptamente el umbral de emisión láser. Estas oscilaciones son relativamente caóticas y no están sincronizadas con la nube de desechos. Contrariamente a estas oscilaciones de relajación "libres", las oscilaciones de intensidad de acuerdo con la presente invención son "impulsadas por bomba", lo que significa que las oscilaciones de intensidad del láser sincronizadas son forzadas sobre el láser modulando apropiadamente la potencia de bombeo de los medios de bombeo.

[0019] De acuerdo con la invención, la intensidad de salida del láser se modula de modo que los picos de intensidad se producen (aproximadamente) en aquellos tiempos en que el tamaño de la nube de desechos es bajo, y los mínimos de intensidad se producen (aproximadamente) en aquellos tiempos en que el tamaño de la nube de desechos es alto.

[0020] De acuerdo con otro aspecto de la invención, una proporción de modulación de intensidad entre un máximo de intensidad del pulso con intensidad $I_{max}(T_i)$ y un mínimo de intensidad sucesivo del pulso con intensidad $I_{min}(t_i)$ se define como $R_i = (I_{max}(T_i)-I_{min}(t_i))/I_{max}(T_i)$. Así, para al menos el 70 % de estos valores Ri, Ri estará en el intervalo de ≥ 0,20, inclusive, y ≤ 0,95, inclusive, preferentemente en el intervalo de ≥ 0,4, inclusive, y ≤ 0,90, inclusive, y más preferentemente en el intervalo de ≥ 0,7, inclusive, y ≤ 0,85, inclusive.

[0021] El límite inferior para la proporción de modulación de intensidad Ri asegura que la modulación de intensidad sea suficientemente alta para reducir los efectos de la difusión de calor y de la interacción de desechos-láser (como se explicó anteriormente). Y el límite superior de la proporción de modulación de intensidad asegura que el láser nunca caiga por debajo del umbral de emisión láser en condiciones ambientales variables.

[0022] De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, durante el desarrollo del pulso, existen al menos 3 y como máximo 20 máximos de intensidad, preferentemente de cuatro a doce máximos de intensidad, y lo más preferentemente de cuatro a siete máximos de intensidad.

[0023] De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, la duración del pulso T_0 obedece a la siguiente proporción 0,35 ms ≤ T_0 ≤ 5 ms, preferentemente 0,35 ms ≤ T_0 ≤ 2 ms y lo más preferentemente aproximadamente 0,75 ms.

[0024] El mantenimiento de estos límites superiores para la duración del pulso y, en consecuencia, para el número de máximos por pulso evita el sobrecalentamiento del material láser y también del tejido tratado. Y manteniendo el límite inferior mencionado anteriormente de la duración del pulso T_0 evita las intensidades promedio elevadas y las densidades de nube de desechos grandes que son características de los pulsos láser de corta duración.

[0025] De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, los valores de los máximos de intensidad I_{max} del pulso láser pueden variar dentro de un intervalo de 30 %, más preferentemente dentro del intervalo de 20 % y más preferentemente dentro del intervalo de 10 %. Asimismo, los valores de los mínimos de intensidad $I_{min}(t_i)$ varían dentro de un intervalo de 30 %, más preferentemente dentro de un intervalo de 20 % y lo más preferentemente

dentro de un intervalo de 10 %.

[0026] De acuerdo con la presente invención, la diferencia de tiempo $|T_i-T_{i+1}|$ entre los máximos de intensidad vecinos del pulso está en el intervalo de ≥ 80 µs y ≤ 250 µs.

[0027] De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, el sistema láser comprende un láser Er:YAG o Er,Cr:YSGG como fuente láser.

[0028] La elección de diferencias de tiempo en este intervalo numérico es beneficiosa para la se producción de oscilaciones para el tamaño de la nube de desechos.

[0029] De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, el sistema láser comprende una unidad de control, un medio de bombeo, una fuente láser y un sistema de suministro de luz, en el que el sistema láser está adaptado para funcionar para generar pulsos láser de salida individual temporalmente limitados con un longitud del pulso temporal (T_0) y en el que la intensidad dentro del pulso individual se modula con un período de modulación temporal (T_M) que está al menos aproximadamente sincronizado con el tiempo de subida y bajada del tamaño de la nube de desechos generada por láser.

[0030] La invención también se basa en el siguiente reconocimiento: Cuando se dirige un pulso de luz láser ablativa sobre el tejido, comienza la ablación del tejido y da lugar a la emisión de partículas sometidas a ablación por encima de la superficie del tejido, de modo que se forma una nube de desechos. La nube de desechos no se desarrolla instantáneamente. Las partículas se empiezan a emitir con cierto retraso después del inicio de un pulso láser y a continuación se propagan con una determinada velocidad y con un determinado ángulo sólido por encima de la superficie del tejido sometido a ablación. Por lo tanto, al comienzo del pulso láser, la luz del láser que incide debe atravesar solo una pequeña cantidad de desechos antes de llegar al tejido. Solo en tiempos posteriores durante el desarrollo de un único pulso láser, cuando la nube de desechos ya se ha extendido bien por encima del tejido, los efectos no deseados de la interacción del rayo láser con la nube de desechos se vuelven significativos. El tiempo de subida, t_R, que se define como el período de tiempo entre el inicio de un pulso láser y el tiempo en que la interacción de la nube de desechos con la luz láser se vuelve máxima, está típicamente dentro de un intervalo de 30 microsegundos incluidos a 100 microsegundos incluidos, dependiendo de la intensidad de la luz láser y del tipo de tejido sometido a ablación.

[0031] La nube de desechos también tiene un tiempo de desintegración t_d que se define como el tiempo necesario para que la nube de desechos se asiente después del final de un pulso láser. El tiempo de desintegración medido está típicamente dentro de un intervalo de 50 microsegundos incluidos a 150 microsegundos incluidos, dependiendo de la intensidad y energía del pulso láser y el tipo de tejido sometido a ablación.

Descripción detallada de los modos de realización preferentes

[0032] Algunos de los modos de realización de la invención se explicarán a continuación con ayuda de los dibujos con más detalle. Se muestra en:

La fig. 1 una ilustración esquemática de la intensidad del láser temporal y el desarrollo de la nube de desechos temporal durante el curso de un pulso láser;

La fig. 2 un sistema láser de acuerdo con la invención;

La fig. 3 una ilustración esquemática que muestra la diferencia entre el desarrollo temporal de la intensidad del láser de acuerdo con la técnica anterior y el desarrollo temporal de la intensidad del láser de acuerdo con la presente invención;

La fig. 4 una corriente de lámpara de destellos ejemplar de acuerdo con la presente invención y la intensidad del pulso láser que es generado por la corriente de la lámpara de destellos;

La fig. 5 en una ilustración esquemática, el desarrollo temporal de la modulación de intensidad de pulso forzada por bomba de acuerdo con la presente invención;

La fig. 6 en una ilustración esquemática, el desarrollo temporal de una modulación de intensidad de pulso forzada por bomba de acuerdo con la presente invención, y una intensidad de pulso resultante en el tejido en condiciones de enfriamiento por pulverización de agua;

[0033] La fig. 1 muestra una ilustración esquemática de cómo se genera una nube de desechos durante el curso de un único pulso láser de la técnica anterior. En la fig.1, la curva de línea continua representa la conformación temporal del pulso láser y la curva de línea discontinua representa la cantidad de luz que se dispersa desde la nube de desechos que se desarrolla por encima de la superficie sometida a ablación y alcanza una altura de hasta varios milímetros por encima de la superficie. Por tanto, la intensidad de la luz dispersa representa una medida de

la cantidad de partículas de desechos que debe atravesar el rayo láser para alcanzar la región tratada del tejido. Por tanto, la curva de línea discontinua también representa el tamaño de la nube de desechos.

[0034] Cuando el pulso de luz láser ablativa se dirige sobre el tejido orgánico, comienza la ablación del tejido y se forma un área de ablación que da lugar a la emisión de partículas sometidas a ablación por encima de la superficie del tejido, en el que las partículas forman una nube de desechos. La nube de desechos no se desarrolla instantáneamente, como se puede ver en la fig.1. Las partículas se empiezan a emitir con cierto retraso después del inicio del pulso láser, después de lo cual se propagan a una determinada velocidad y con un determinado ángulo sólido por encima de la superficie del tejido sometido a ablación. Por lo tanto, al comienzo del pulso, la cantidad de partículas emitidas por encima del área de ablación es baja, mientras que en un tiempo posterior durante el desarrollo del pulso las partículas se extienden muy por encima de la superficie de modo que la cantidad de partículas que debe atravesar la luz láser antes de alcanzar el tejido es alta.

[0035] Se puede ver en la curva de luz dispersa que la nube de desechos (fig. 1) tiene un tiempo típico de subida de la nube t_R y un tiempo típico de desintegración de la nube t_D. El tiempo de subida de la nube, t_R, definido como el período de tiempo entre el inicio de un pulso láser y el tiempo en que el tamaño de la nube de desechos alcanza su punto máximo, suele estar dentro de un intervalo de 30 a 100 microsegundos, dependiendo de la intensidad de la luz láser y el tipo de tejido sometido a ablación. Para el ejemplo que se muestra en la fig. 1, el tiempo de subida observado es de aproximadamente 70 microsegundos.

[0036] La nube de desechos también tiene un tiempo de desintegración t_d que se define como el tiempo necesario para que la nube de desechos se asiente desde su tamaño máximo después de que finalice un pulso láser. Típicamente, se observa que el tiempo de desintegración de la nube de desechos está entre 50 y 150 microsegundos, dependiendo de la intensidad y energía del pulso láser y los parámetros del tejido. Para el ejemplo que se muestra en la fig. 1, el tiempo de desintegración de la nube de desechos es de aproximadamente 80 microsegundos.

[0037] Con referencia ahora a la fig. 2, en diversos modos de realización, un sistema láser 100 comprende una unidad de control 110, un medio de bombeo 120, una fuente láser 130 y un sistema de suministro de luz 140 en el que el sistema láser está adaptado para funcionar para generar pulsos láser de salida individual temporalmente limitados con una longitud de pulso temporal global T_0 y en el que la intensidad dentro del pulso individual se modula con un período de modulación temporal.

[0038] En algunos de los modos de realización preferentes, la fuente láser 130 funciona en un intervalo de longitud de onda por encima de 1,9 a 11 micrones, tal como el láser Tm:YAG de estado sólido (longitud de onda de 2,0 micrones), láser Ho:YAG de estado sólido (longitud de onda de 2,1 micrones), láser Er:YAG de estado sólido (longitud de onda de 2,94 micrones) y láser Er,Cr:YSGG de estado sólido (longitud de onda de 2,79 micrones), o láser CO_2 de gas (longitud de onda de 9,3 a 10,6 micrones) de alta absorción en agua, que es el componente principal del tejido orgánico. Sin embargo, también se pueden usar longitudes de onda por debajo de 1,9 micrómetros, particularmente cuando el rayo láser se enfoca a un punto suficientemente pequeño para generar intensidades de láser por encima del umbral de ablación de tejido. Los láseres con una longitud de onda por debajo de 1,9 micrones pueden incluir un láser Nd:YAG de estado sólido (longitud de onda de 1,44, 1,32 o 1,06 micrones), un láser Nd:YAP de estado sólido (longitud de onda de 1,34 o 1,08 micrones) y láser KTP:YAG de estado sólido (longitud de onda de 5,3 micrones) y diversos láseres de diodo (longitudes de onda en un intervalo de 0,8 a 2,1 micrones).

[0039] En referencia ahora a la figura 3, se puede ver un pulso láser modulado según la invención (representado por una línea continua) con una duración de pulso global T_0 y energía E_0. Un pulso modulado de este tipo se usa ventajosamente en la presente invención en lugar de un pulso láser estándar de la técnica anterior (representado por una línea discontinua) con la misma duración de pulso global T_0 y energía E_0. El sistema láser puede funcionar de modo que estos pulsos individuales modulados se sucedan en un período temporal adecuado (T_P).

[0040] Como también se puede ver en la fig.3, el pulso láser modulado según la invención oscila entre valores máximos y mínimos, es decir, los máximos y mínimos de la intensidad del pulso láser se alternan, en el que los máximos de intensidad se producen en los tiempos $\{T_i, i=1,... N\}$ y los mínimos de intensidad se producen en los tiempos $\{t_k, k=1,... (N-1)\}$. Aquí y en lo que sigue, "máximos" y "mínimos" se refieren preferentemente a máximos locales y mínimos locales de la oscilación. El período de modulación temporal promedio T_M del pulso láser se define como las diferencias de tiempo promedio entre los máximos de pulso sucesivos, es decir, como el valor medio para los valores $|T_{i+1}-T_i|$.

[0041] La modulación de la intensidad del pulso láser generado se logra modulando la potencia de bomba de los medios de bombeo láser 120 de una manera apropiada. De acuerdo con la invención, los medios de bombeo láser 120 comprenden al menos una fuente de corriente 121 en la que su corriente de salida es controlada por la unidad de control 140 de tal manera que se genera un pulso láser de salida limitado temporalmente con la modulación de intensidad deseada.

[0042] La parte superior de la fig. 4 muestra una corriente de lámpara de destellos modulada ejemplar, mientras que la parte inferior de la fig. 4 muestra la intensidad del pulso láser que es generado por esa corriente de la lámpara de destellos. Se reconoce que los períodos de modulación de la corriente de la lámpara de destellos y de la intensidad del pulso son aproximadamente iguales entre sí.

[0043] En algunos de los modos de realización, tales como láseres de diodo o láseres de gas, la corriente de la fuente de corriente 121 fluye directamente a través del material láser (un semiconductor o un gas) dentro de la fuente láser 130, y bombea la fuente láser 130 para generar pulsos láser de salida según la invención. En otros modos de realización más, los medios de bombeo 120 consisten adicionalmente en una fuente de luz de bomba óptica 122, tal como una lámpara de destellos o un diodo, y la corriente de la fuente de corriente 121 fluye a través de la fuente de luz de bomba óptica 122 que bombea la fuente láser 130, tal como un láser de estado sólido, para generar pulsos láser de salida según la invención.

[0044] Las lámparas de destellos se usan comúnmente para bombear ópticamente láseres médicos. El procedimiento convencional de pulsar una lámpara de destellos es descargar una red de formación de pulsos (PFN) a través de la lámpara de destellos. Una red de formación de pulsos comprende condensadores para almacenar energía eléctrica e inductancias para limitar la corriente de descarga en la carga de la lámpara de destellos. Los pulsos láser resultantes de una lámpara de destellos bombeada por PFN suelen tener forma de campana y una duración fija T_0. En la fig. 1 (línea completa) se muestra un ejemplo de un pulso láser de salida PFN de la técnica anterior.

[0045] Otro tipo de fuentes de corriente de bombeo de la técnica anterior para lámparas de destellos en láseres médicos es una fuente de alimentación de pulso cuadrado variable (VSP). Aquí, una fracción de la energía almacenada en un gran banco de condensadores se descarga a través de la lámpara de destellos que proporciona pulsos de bomba de forma casi cuadrada que también dan como resultado pulsos láser de salida de forma casi cuadrada, cuya duración (T_0) se puede controlar convenientemente en un amplio intervalo de duración de pulso abriendo y cerrando un transistor de conmutación, por ejemplo, un transistor IGBT. En la fig. 3 (línea discontinua) se muestra un ejemplo esquemático de una conformación de pulso láser de salida VSP de la técnica anterior.

[0046] Las fuentes de corriente de bombeo de la técnica anterior descritas anteriormente para lámparas de destellos en láseres médicos no son muy adecuadas para crear pulsos láser modulados según la invención. En su lugar, en un modo de realización preferente, se puede usar una fuente de alimentación de modulación de ancho de pulso (PWM). La configuración para modular la intensidad de pulso de bombeo se describe como sigue. La energía eléctrica se almacena en un gran banco de condensadores conectado a la lámpara de destellos por medio de un transistor IGBT de conmutación rápida (transistor bipolar de puerta aislada). La lámpara de destellos se coloca primero en el estado conductor de baja corriente controlado por una fuente de alimentación de descarga continua a baja potencia separada. El pulso de bombeo se inicia conmutando el IGBT al estado conductor iniciando la corriente eléctrica para ingresar a la lámpara de destellos desde el banco de condensadores. Al conmutar el IGBT con un tren de pulsos de control, la corriente a través de una lámpara de destellos alcanza un valor deseado dependiendo de las características eléctricas del circuito electrónico, la frecuencia de conmutación y el ancho de pulso del tren de pulsos. Por tanto, la corriente efectiva a través de la lámpara de destellos se puede controlar en línea con un procesador aplicando la modulación de ancho de pulso de la señal de conmutación IGBT. La fig. 4 muestra la corriente de bomba modulada de acuerdo con el procedimiento PWM y el pulso láser que resulta de dicha modulación de la fuente de bomba y que se puede usar ventajosamente en la presente invención.

[0047] La fig. 5 muestra una ilustración esquemática de un modo de realización particular de la invención. En la fig. 5, la curva de línea completa representa la conformación temporal del pulso láser y la curva de línea discontinua representa el tamaño de la nube de desechos.

[0048] Como se puede observar en la fig.5, la intensidad instantánea (I) del pulso láser se modula entre valores de intensidad mínimos (I_{min}) y máximos (I_{max}), con un factor de modulación de intensidad $R:= (I_{max}-I_{min})/I_{max}$. Estos valores de intensidad no se aplican al principio y al final del pulso donde la intensidad comienza y termina en el valor cero.

[0049] De manera más general, los valores para la intensidad del pulso pueden variar en estos máximos y mínimos. Así, una pluralidad de proporciones de modulación de intensidad se puede definir como $R_i: = [I_{max}(T_i)-I_{min}(t_i)]/I_{max}(T_i)$, en el que $I_{max}(T_i)$ e $I_{min}(t_i)$ son los valores de intensidad para el máximo en el tiempo T_i y para el mínimo en el tiempo ti, respectivamente (en la definición anterior, $T_i < t_i$, y t_i corresponde al siguiente mínimo (local) que sigue al máximo en T_i). Como se mencionó anteriormente, la diferencia de tiempo $|T_{i+1}-T_i|$ entre dos máximos de intensidad vecinos puede variar en cierto punto entre diferentes máximos de intensidad del pulso. Lo mismo se cumple con los mínimos de intensidad.

[0050] Además, las diferencias de tiempo $|T_{i+1}-T_i|$ entre dos máximos de intensidad vecinos, es decir, el período de oscilación del pulso láser, se eligen suficientemente largos como para que, entre dos máximos de pulso sucesivos, la nube de desechos pueda desintegrar hasta cierto punto. Esto significa que la nube de desechos, más precisamente el tamaño de la nube de desechos, también oscila durante la duración del pulso láser (véase la curva

para el tamaño de la nube de desechos en la fig. 5). En particular, durante la duración del pulso (T_0), se alternan los máximos del tamaño de la nube de desechos y los mínimos del tamaño de la nube de desechos.

[0051] En particular, dado que la nube de desechos reacciona a la intensidad del pulso láser con cierto retraso, la modulación de la intensidad del láser se puede hacer de modo que la intensidad del láser esté cerca del mínimo cuando el tamaño de la nube de desechos está en un valor máximo. En otras palabras, los mínimos de intensidad del pulso láser se producen aproximadamente en aquellos tiempos en que el tamaño de la nube de desechos es máximo.

[0052] Además, cabe señalar que los tiempos de subida y desintegración de la nube de desechos que se producen durante el comportamiento oscilatorio del tamaño de la nube de desechos de acuerdo con la fig.5 son en general diferentes de los tiempos de subida y desintegración t_R, t_D que se han definido anteriormente en el contexto de la fig. 1, ya que, en la fig. 1, un pulso láser con un único máximo genera la nube de desechos, mientras que, en la fig. 5, se usa un pulso láser modulado con varios máximos. En particular, el tamaño de la nube de desechos no se desintegra a cero en la fig.5, en contraste con la situación en la fig.1. En consecuencia, en la fig. 5, el tiempo de subida $\tilde{t}_R$ de la nube para la nube de desechos se define como el período de tiempo en el que el tamaño de la nube de desechos crece desde un valor mínimo (sin desaparecer) hasta un valor máximo. De forma similar, el tiempo de desintegración $\tilde{t}_D$ de la nube se define como el período de tiempo en el que el tamaño de la nube de desechos se desintegra desde un valor máximo hasta un valor mínimo (sin desaparecer). La fig. 5 ilustra las cantidades $\tilde{t}_R$ y $\tilde{t}_D$.

[0053] Para que pueda tener lugar la sincronización aproximada entre los mínimos de intensidad del pulso láser y los máximos de la nube de desechos, el período de modulación promedio T_M del pulso láser debe ser mayor o igual que la suma de los tiempos de subida y desintegración de la nube, es decir $T_M \geq \tilde{t}_R+\tilde{t}_D$. La duración de pulso global (T_0) es el más corto y, en consecuencia, el funcionamiento del láser más eficaz, si $T_M \approx \tilde{t}_R+\tilde{t}_D$. El espaciado de modulación (promedio) (T_M) está por lo tanto en el intervalo de ≥ 80 µs y ≤ 250 µs.

[0054] El pulso láser modulado de acuerdo con la presente invención resuelve el conflicto descrito anteriormente de que los pulsos cortos minimizan la deposición de calor en el tejido tratado, mientras que los pulsos largos son ventajosos para la interacción del pulso láser con la nube de desechos. El pulso láser modulado mantiene baja la deposición de calor al tejido tratado, ya que, entre dos máximos de la intensidad del láser, la intensidad del láser disminuye a valores bajos. De esta manera, el tejido tratado se puede enfriar entre dos máximos de pulso de modo que también se detenga el flujo de calor hacia el tejido debajo del área tratada. Por otro lado, la interacción entre el pulso láser y la nube de desechos también se reduce para los pulsos láser modulados de acuerdo con la presente invención, ya que la intensidad del láser es aproximadamente mínima en aquellos tiempos en los que el tamaño de la nube de desechos se vuelve máximo.

[0055] Desde el punto de vista de la deposición de calor, es ventajoso suministrar la energía contenida dentro de un pulso de una manera fuertemente modulada, es decir, con una gran proporción de modulación de intensidad, para obtener máximos de intensidad altos durante los cuales la ablación es más rápida que la difusión de calor. Cuanto mayor sea la proporción de modulación de intensidad R, menor será el calor que permanecerá depositado dentro del tejido tratado al final del pulso.

[0056] De forma similar, desde la perspectiva de la interacción láser-desechos, la proporción de modulación de intensidad R debe ser lo más cercana posible a R = 1, ya que la intensidad del láser es muy pequeña en aquellos tiempos en que el tamaño de la nube de desechos se vuelve máximo. Sin embargo, una proporción de modulación de R = 1 no es deseable, ya que esto significaría que a los mínimos de intensidad, el funcionamiento del láser cae por debajo del umbral de emisión láser ($I_{min} = 0$). Un láser que funciona en dicho régimen se tendría que volver a bombear por encima del umbral después de cada mínimo de intensidad, lo que daría lugar a una menor eficacia global del sistema láser. Aún más importante, se producirían grandes oscilaciones de intensidad de relajación indeseables e incontroladas cada vez que el láser se tuviera que volver a bombear por encima del umbral de emisión láser. Esto daría lugar a un funcionamiento inestable del láser y un daño potencial a la óptica del láser debido a picos de intensidad altos, y también interferiría con las oscilaciones de intensidad "impulsadas por bomba", lo que podría desincronizar la modulación de intensidad del láser respecto a las oscilaciones de la nube de desechos. Por esta razón, de acuerdo con nuestra invención, la proporción de modulación de intensidad R está en el intervalo de ≥ 0,20, inclusive, y ≤ 0,95, inclusive, preferentemente en el intervalo de ≥ 0,4, inclusive, y ≤ 0,90, inclusive, y convenientemente en el intervalo de ≥ 0,7, inclusive, y ≤ 0,85, inclusive. El límite inferior para la proporción de modulación de intensidad asegura que la modulación de intensidad sea suficientemente alta para reducir los efectos de la difusión de calor y de la interacción de desechos-láser. Y el límite superior de la proporción de modulación de intensidad asegura que el funcionamiento del láser nunca caiga por debajo del umbral de emisión láser en condiciones ambientales variables.

[0057] En un modo de realización preferente, un pulso láser comprende al menos dos máximos de intensidad (I_{max}). Preferentemente, un pulso tiene como máximo 20 máximos, más preferentemente, sin embargo, de tres a doce máximos y en particular cinco máximos. La duración del pulso T_0 es preferentemente 0,35 ms ≤ T_0 ≤ 5 ms, ventajosamente 0,35 ms ≤ T_0 ≤ 2 ms y en particular aproximadamente 0,75 ms. El mantenimiento de límites

superiores mencionados anteriormente para la duración del pulso y, en consecuencia, para el número de máximos por pulso evita el sobrecalentamiento del material láser y también del tejido tratado. Y manteniendo el límite inferior mencionado anteriormente de la duración del pulso T_0 evita las intensidades promedio elevadas y las densidades de nube de desechos grandes que son características de los pulsos láser de corta duración.

[0058] En uno de los modos de realización preferentes adicionales, el sistema de suministro 140 puede estar equipado con un medio para suministrar agua al área de ablación. El agua se puede suministrar al área de ablación en forma de pulverización de agua-aire o en forma de chorro de agua. La pulverización de agua o el chorro de agua se pueden cruzar con el rayo láser en el espacio directamente encima del área de ablación, o se puede suministrar al área de ablación desde el lateral. Lo importante para este modo de realización preferente es que para realizar la ablación del tejido, la luz láser debe pasar primero a través del agua que está presente en su camino en forma de agua nebulizada o chorro de agua por encima del área de ablación, o como una capa de agua sobre la superficie sometida a ablación. Ahora, se entiende bien que cuando una luz láser de intensidad I que tiene una longitud de onda que está en el intervalo de 1,9 a 11 micrones y que es absorbida por el agua incide en cualquier agua en su camino, se usa una parte de la energía de la luz láser para evaporar el agua, creando por tanto un túnel de vapor a través del cual la luz láser puede avanzar hacia el objetivo. Dado que, en este proceso, una fracción de la energía se usa para evaporar el agua, la intensidad del láser de salida inicial I se reduce correspondientemente a una intensidad de transmisión más pequeña I'. Dado que la energía requerida para crear el túnel de vapor es fija y no depende de la intensidad del láser, la reducción relativa en la intensidad, (I-I')/I, es mayor para intensidades entrantes menores I y menor para intensidades entrantes mayores I. Por tanto, los mínimos de intensidad (I_{min}) del pulso láser modulado según la invención se ven relativamente más afectados por la presencia de agua que los máximos de intensidad (I_{max}), como se muestra en la figura 6. Por tanto, la proporción de modulación de intensidad resultante $R'= (I'_{max}-I'_{min})/I'_{max}$ del pulso láser transmitido incrementa y los efectos indeseables de la nube de desechos se reducen correspondientemente por la presencia de agua en el camino del pulso láser. En uno de los modos de realización, los mínimos de intensidad entrantes I_{min} se pueden elegir para que sean suficientemente bajos y las condiciones de suministro de agua se pueden seleccionar de modo que la pérdida de energía a través del agua dé como resultado una intensidad transmitida de cero ($I'_{min}= 0$). Usando este modo de realización particular, los efectos de la nube de desechos se pueden por tanto minimizar aún más sin introducir inestabilidades de umbral del láser que se producirían si el mínimo de intensidad I_{min} emitido por el láser se redujera a cero.

[0059] En uno de los modos de realización preferentes, el láser es un láser Er:YAG o Er,Cr:YSGG de estado sólido bombeado de lámpara de destellos caracterizado porque la lámpara de destellos es bombeada por una fuente de corriente PWM, y en el que la duración del pulso (T_0) está en el intervalo de $0,5\ ms \leq T_0 \leq 9\ ms$, y en el que existen cuatro a seis máximos de intensidad, y en el que la proporción de modulación de intensidad R está en el intervalo de ≥ 0,70, inclusive, y ≤ 0,95 inclusive, y en el que el espaciado de modulación temporal (T_M) entre los máximos de intensidad está en el intervalo de ≥ 110 µs y ≤ 180 µs. En otro modo de realización, el sistema de suministro 140 está equipado con un medio para suministrar agua en las proximidades del área de ablación en forma de pulverización de agua o chorro de agua; y en el que la energía del pulso láser se absorbe parcialmente en el agua mencionada anteriormente y en el que, como resultado, la proporción de modulación R' de la luz transmitida incrementa favorablemente.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema láser que comprende:

un láser y una bomba, estando la bomba configurada para bombear el láser para generar pulsos láser, en el que el sistema láser está adaptado para funcionar en funcionamiento pulsado de modo que se genera al menos un pulso láser individual de una duración de pulso temporalmente limitada (T_0),

en el que el pulso láser puede funcionar para realizar la ablación de un material de modo que se forme una nube de desechos por encima del material sometido a ablación, en el que la nube de desechos comprende partículas del material sometidas a ablación; y en el que el láser está configurado de modo que la potencia de la bomba se modula de modo que

(1) la intensidad del pulso oscila entre valores máximos y valores mínimos durante la duración del pulso, en el que el pulso láser comprende una pluralidad de máximos de intensidad I_{max} que se producen en los tiempos $\{T_i, i=1,... N\}$; y una pluralidad de mínimos de intensidad I_{min} que se producen en los tiempos $\{t_k, k=1,... (N-1)\}$, en el que la intensidad no desaparece en los mínimos de intensidad, y en el que el período de modulación promedio T_M del pulso se define como el valor medio de las diferencias de tiempo $|T_{i+1}-T_i|$ entre sucesivos máximos de intensidad,

en el que las oscilaciones de intensidad del pulso láser inducen oscilaciones del tamaño de la nube de desechos de modo que, durante la duración del pulso (T_0), existen al menos dos máximos del tamaño de la nube de desechos que se producen en los tiempos $\{\tau_j, j=1,... M\}$ y que se localizan entre dos máximos de intensidad del pulso láser; y

(2) el período de modulación promedio T_M está en el intervalo de ≥ 80 µs y ≤ 250 µs de modo que al menos el 70 por ciento de los máximos del tamaño de la nube de desechos se producen cerca de un mínimo de intensidad del pulso de modo que, al menos el 70 por ciento de los máximos del tamaño de la nube de desechos, la intensidad del pulso $I(\tau_j)$ en el tiempo del máximo del tamaño de la nube de desechos es menor que $I_{min}(t_k)+0,5 \times [I_{max}(T_i)-I_{min}(t_k)]$, en el que $I_{min}(t_k)$ es el mínimo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j e $I_{max}(T_i)$ es el máximo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j.

2. Sistema láser de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos el 90 por ciento de los máximos del tamaño de la nube de desechos se produce cerca de un mínimo de intensidad del pulso de modo que, para al menos el 90 por ciento de los máximos del tamaño de la nube de desechos, la intensidad del pulso $I(\tau_j)$ en el tiempo del máximo del tamaño de la nube de desechos es menor que $I_{min}(t_k)+0,5 \times [I_{max}(T_i)-I_{min}(t_k)]$, en el que $I_{min}(t_k)$ es el mínimo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j e $I_{max}(T_i)$ es el máximo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j.

3. Sistema láser de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que, para un máximo del tamaño de la nube de desechos que se produce cerca de un mínimo de intensidad del pulso, la intensidad del pulso $I(\tau_j)$ en el tiempo del máximo del tamaño de la nube de desechos es menor que $I_{min}(t_k)+0,35 \times [I_{max}(T_i)-I_{min}(t_k)]$, en el que $I_{min}(t_k)$ es el mínimo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j e $I_{max}(T_i)$ es el máximo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j.

4. Sistema láser de acuerdo con la reivindicación 3, en el que, para un máximo del tamaño de la nube de desechos que se produce cerca de un mínimo de intensidad del pulso, la intensidad del pulso $I(\tau_j)$ en el tiempo del máximo del tamaño de la nube de desechos es menor que $I_{min}(t_k)+0,2 \times [I_{max}(T_i)-I_{min}(t_k)]$, en el que $I_{min}(t_k)$ es el mínimo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j e $I_{max}(T_i)$ es el máximo de intensidad del pulso que está más cerca del máximo del tamaño de la nube de desechos en el tiempo τ_j.

5. Sistema láser de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes,

en el que una proporción de modulación de intensidad entre un máximo de intensidad del pulso con intensidad $I_{max}(T_i)$ y un mínimo de intensidad sucesivo del pulso con intensidad $I_{min}(t_i)$ se define como $R_i = (I_{max}(T_i)-I_{min}(t_i))/I_{max}(T_i)$, y

en el que cada proporción de modulación de intensidad R_i está en el intervalo de ≥ 0,20, inclusive, y ≤ 0,95, inclusive, preferentemente en el intervalo de ≥ 0,4, ambos inclusive, y ≤ 0,90, inclusive, y más preferentemente en el intervalo de ≥ 0,7, ambos inclusive y ≤ 0,85, inclusive.

6. Sistema láser de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes,

en el que los valores de los máximos de intensidad $I_{max}(T_i)$ varían dentro de un intervalo de 30 %, más preferentemente dentro de un intervalo de 20 %, y lo más preferentemente dentro de un intervalo de 10 %; y

en el que los valores de los mínimos de intensidad $I_{min}(t_i)$ varían dentro de un intervalo de 30 %, más preferentemente dentro de un intervalo de 20 % y más preferentemente dentro de un intervalo de 10 %.

7. Sistema láser de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que, durante el desarrollo del pulso, existen al menos 3 y como máximo 20 máximos de intensidad, preferentemente de cuatro a doce máximos de intensidad, y lo más preferentemente de cuatro a siete máximos de intensidad.

8. Sistema láser de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la duración del pulso ($T_{0)}$ es ≥ 350 µs.

9. Sistema láser de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** la duración del pulso (T_0) es 0,35 ms ≤ T_0 ≤ 5 ms, preferentemente 0,35 ms ≤ T_0 ≤ 2 ms y lo más preferentemente aproximadamente 0,75 ms.

10. Sistema láser de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema láser se usa para la ablación de tejido.

11. Sistema láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** el láser es bombeado por una lámpara de destellos.

12. Sistema láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes,

en el que la longitud de onda del láser se encuentra en el intervalo de 1,9 micrones a 11 micrones y es absorbida por agua, y en donde el sistema láser comprende además un sistema de suministro de luz (140) que comprende un medio para suministrar agua a las proximidades del área de ablación en el forma de una pulverización de agua o un chorro de agua.

13. Sistema láser de acuerdo con la reivindicación 12, en el que la energía de pulso del pulso se absorbe parcialmente en la pulverización de agua o en el chorro de agua, de modo que incrementan las proporciones de modulación R'i de la luz transmitida.

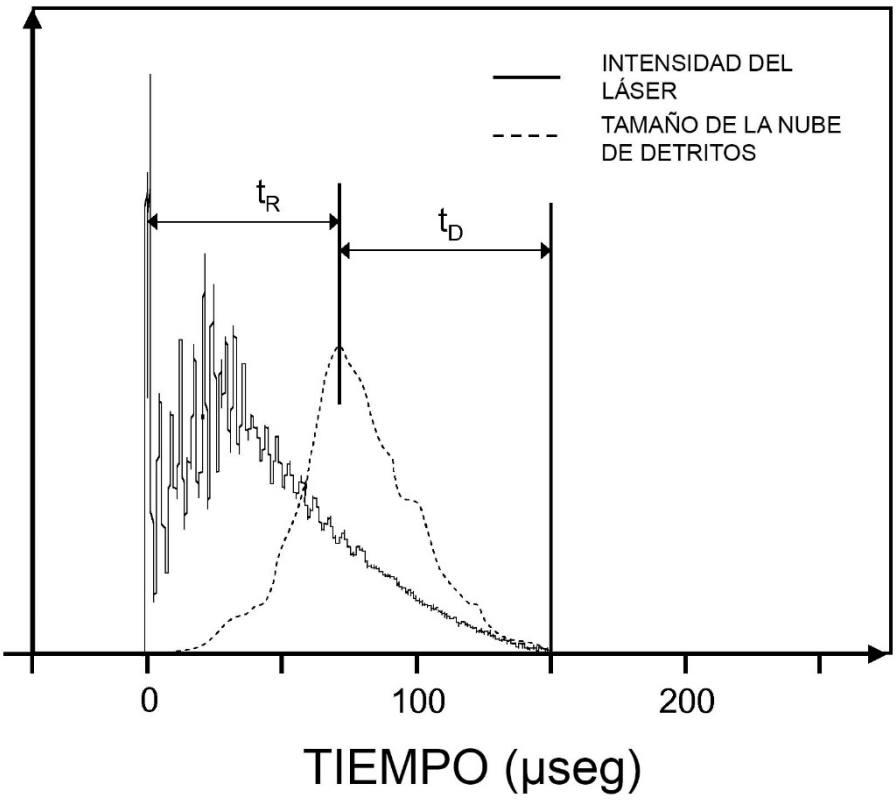

INTENSIDAD DEL LÁSER
TAMAÑO DE LA NUBE DE DETRITOS
t_R
t_D
0
100
200
TIEMPO (µseg)

FIGURA 1

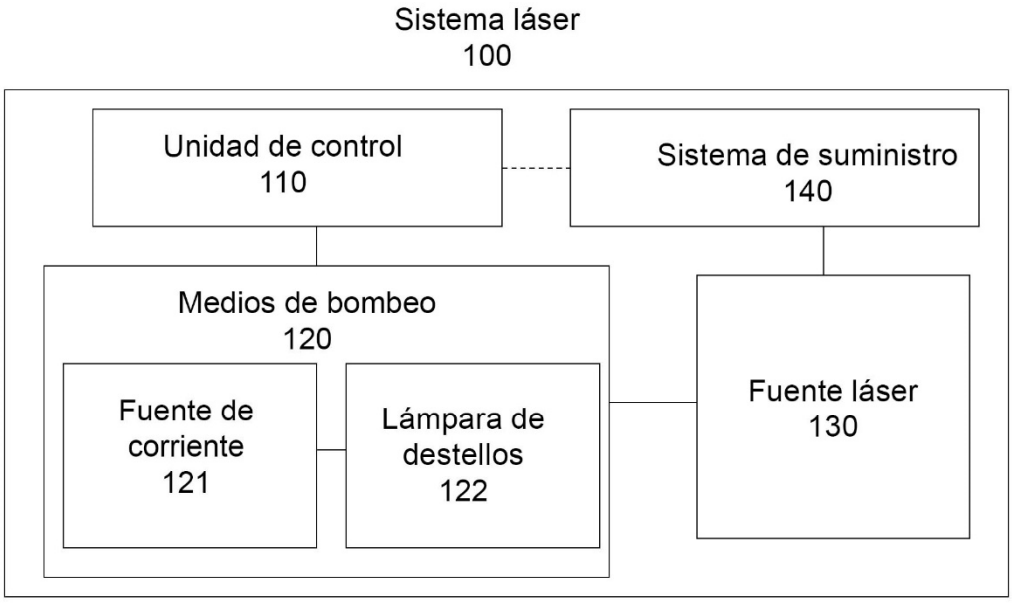

Sistema láser
100
Unidad de control
110
Sistema de suministro
140
Medios de bombeo
120
Fuente de
corriente
121
Lámpara de
destellos
122
Fuente láser
130

FIGURA 2

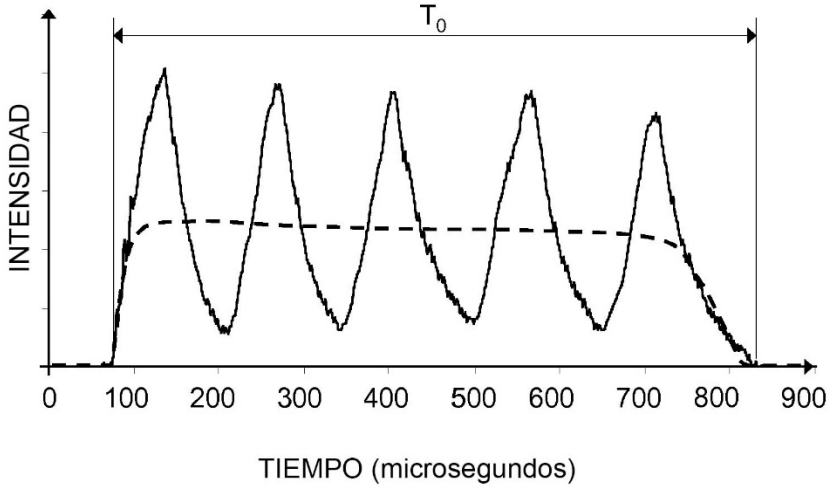

T0
INTENSIDAD
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
TIEMPO (microsegundos)

FIGURA 3

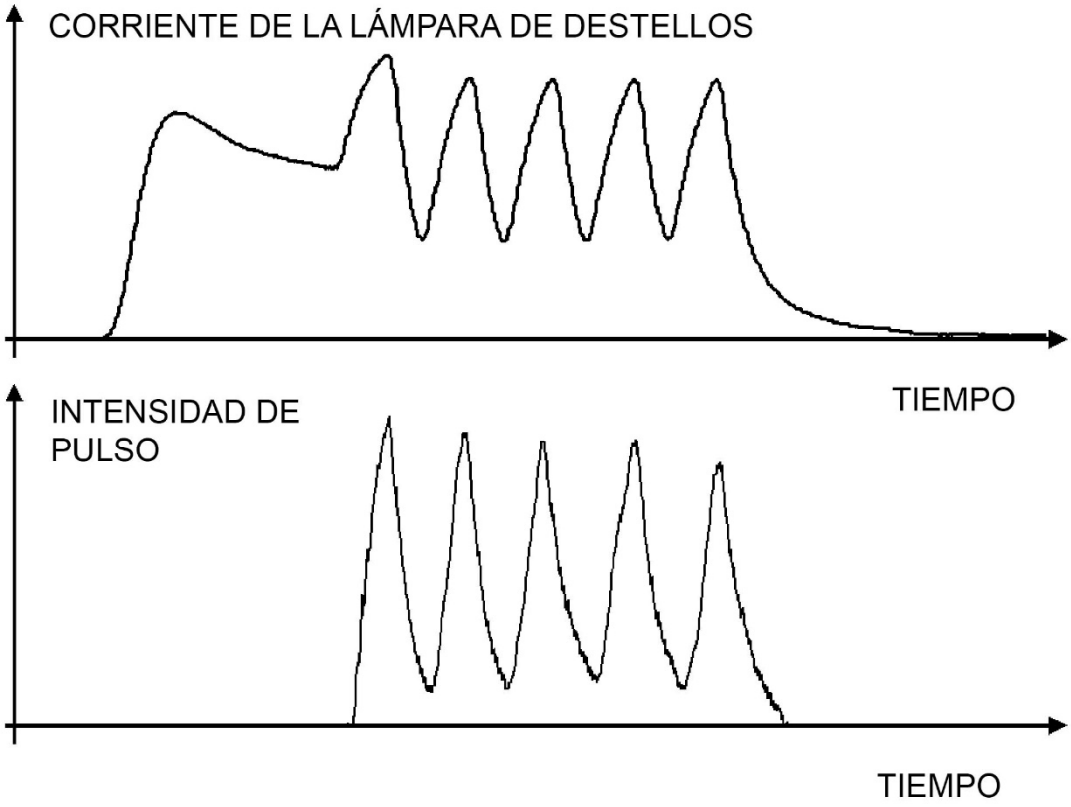

CORRIENTE DE LA LÁMPARA DE DESTELLOS
TIEMPO
INTENSIDAD DE PULSO
TIEMPO

FIGURA 4

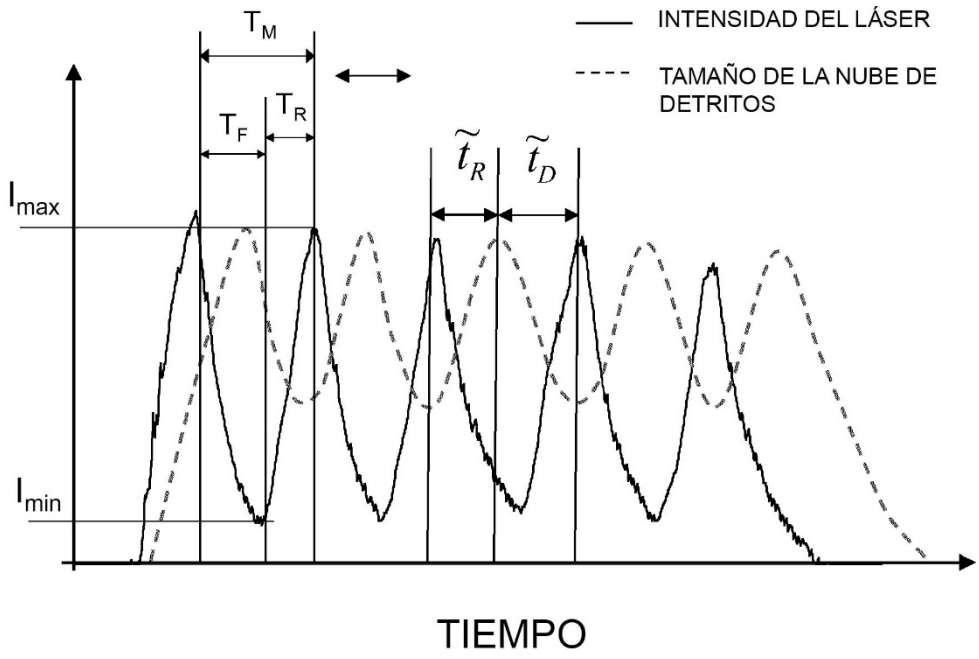

T_M
T_F
T_R
INTENSIDAD DEL LÁSER
TAMAÑO DE LA NUBE DE DETRITOS
$\tilde{t}_R$
$\tilde{t}_D$
I_max
I_min
TIEMPO

FIGURA 5

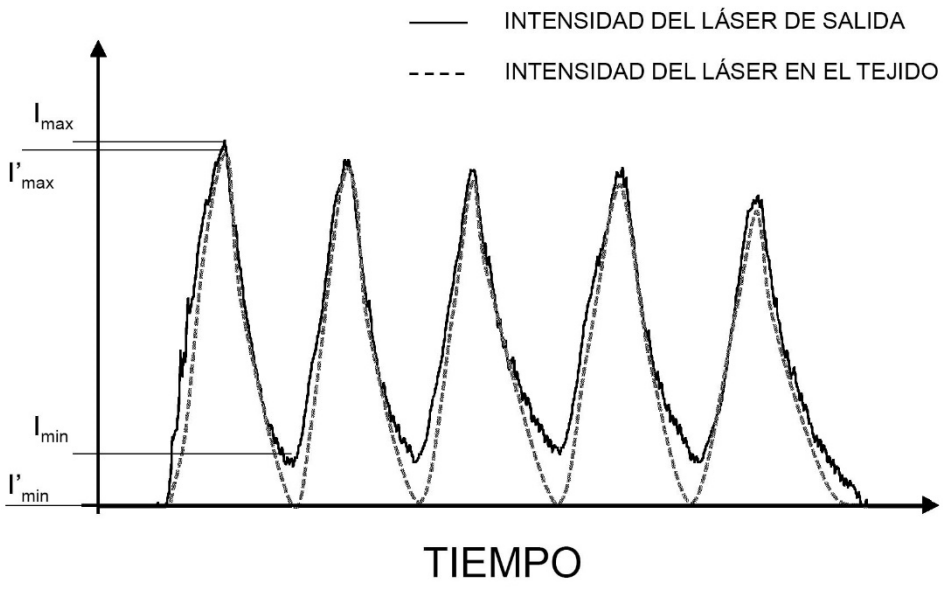

INTENSIDAD DEL LÁSER DE SALIDA
INTENSIDAD DEL LÁSER EN EL TEJIDO
I max
I' max
I min
I' min
TIEMPO

FIGURA 6