

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 108**

51 Int. Cl.:

**A61B 18/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.09.2006 E 06809418 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2012 EP 1933754**

54 Título: **Dispositivo de corte de pelo**

30 Prioridad:

**03.10.2005 EP 05109139**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.03.2013**

73 Titular/es:

**KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V.  
(100.0%)  
GROENEWOUDSEWEG 1  
5621 BA EINDHOVEN, NL**

72 Inventor/es:

**VAN HAL, ROBBERT, A., M. y  
VERHAGEN, RIEKO**

74 Agente/Representante:

**ZUAZO ARALUZE, Alexander**

**ES 2 399 108 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Dispositivo de corte de pelo

5 La invención se refiere a un dispositivo para cortar pelo. En particular, se refiere a un dispositivo para cortar pelo, que comprende un sistema de radiación láser y un manipulador óptico,

en el que el sistema de radiación láser está construido y dispuesto para proporcionar una pluralidad de impulsos por láser enfocados a puntos focales respectivos, y comprende:

10 - una fuente láser que está construida y dispuesta para generar radiación láser en forma de impulsos por láser con una duración de impulso predeterminada; y

15 - un sistema óptico que está construido y dispuesto para enfocar los impulsos por láser a puntos focales respectivos, en el que el manipulador óptico está construido y dispuesto para colocar los puntos focales respectivos en posiciones objetivo respectivas,

20 en el que una potencia de la radiación láser generada y una dimensión del punto focal son de tal manera que, en los puntos focales respectivos, la radiación láser tiene una densidad de potencia que está por encima de un valor umbral característico para tejido capilar, valor umbral por encima del cual, para la duración de impulso predeterminada, se produce un fenómeno de descomposición óptica inducida por láser en el tejido capilar.

25 El documento WO 2005/011510 da a conocer un dispositivo para cortar pelo, en el que una fuente láser genera una pluralidad de impulsos por láser en varias posiciones objetivo adyacentes en un pelo, de tal manera que los impulsos generan cada uno un fenómeno de LIOB, que conjuntamente provocan la rotura del pelo a lo largo de dicha línea.

30 Una desventaja de dicho dispositivo es que la energía total necesaria para romper el pelo es relativamente grande. Esto no significa sólo un rendimiento energético reducido, sino que también provoca que la fuente láser y su fuente de energía sean correspondientemente grandes y complejas.

Es un objeto de la invención proporcionar un dispositivo para cortar pelo que tenga un rendimiento energético mejorado.

35 Este objeto se logra con un dispositivo del tipo mencionado en el preámbulo, que está caracterizado porque el sistema de radiación está construido y dispuesto para proporcionar al menos dos de los impulsos por láser que se superponen en el tiempo en puntos focales respectivos separados especialmente.

40 Los inventores han encontrado que proporcionando al menos dos de los impulsos por láser que se superponen en el tiempo en puntos focales respectivos separados especialmente, se crea la posibilidad de que los fenómenos de LIOB en esos puntos focales puedan colaborar. Se encontró que esto a su vez reducía la energía requerida para romper y por tanto cortar el pelo. El proporcionar, y hacer uso, de esta colaboración de efectos mecánicos es un aspecto importante de la presente invención. Por supuesto, esta colaboración tendrá un efecto mayor cuando los puntos focales estén más próximos entre sí, o la energía en los puntos focales sea mayor, etc. Todo esto, junto con algunos antecedentes sobre los fenómenos, se comentará a continuación.

45 Proporcionando los impulsos respectivos que se superponen en el tiempo, los efectos mecánicos del fenómeno de LIOB en un punto focal se superponen en el tiempo con los efectos mecánicos del fenómeno de LIOB en otro punto focal. Preferiblemente, los impulsos por láser se proporcionan simultáneamente.

50 En general, la descomposición óptica inducida por láser (LIOB) se produce en medios que son transparentes o semitransparentes para la longitud de onda de un haz láser pulsado, cuando la densidad de potencia del haz láser en el punto focal supera un valor umbral que es característico del medio particular. Por debajo del valor umbral, el medio particular tiene propiedades de absorción lineales relativamente bajas para la longitud de onda particular del haz láser. Por encima del valor umbral, el medio tiene propiedades de absorción fuertemente no lineales para la longitud de onda particular del haz láser, que son el resultado de la ionización del medio y la formación de plasma. Este fenómeno de LIOB da como resultado varios efectos mecánicos tales como cavitación y la generación de ondas de choque, que dañan el medio en posiciones que rodean la posición del fenómeno de LIOB.

60 Para una descripción más elaborada de LIOB, se hace referencia al documento WO2005/011510, en particular las páginas 2 y 3. A partir de este documento, puede aprenderse que las longitudes de onda preferidas para la radiación láser están entre aproximadamente 500 nm y 2000 nm, preferiblemente entre 800 nm y 1300 nm, incluso más preferiblemente entre 1000 nm y 1100 nm. Una longitud de onda útil es, por ejemplo, la longitud de onda de 1064 nm de un láser NdYAG. Además, el valor umbral de la densidad de potencia requerida parece ser dependiente de la duración de impulso. Esta dependencia puede determinarse por el experto en la técnica, y se ha encontrado que una duración de impulso en el orden de, por ejemplo, 10 ns es suficiente. Para este valor de la duración de impulso, el

valor umbral  $D_h$  de la densidad de potencia en el punto focal en el pelo es del orden de  $4 \cdot 10^{11}$  W/cm<sup>2</sup>. Ha de observarse que este valor es también dependiente de la forma del pelo (sección transversal circular, sección transversal elíptica, etc.) y de algunos otros factores, tales como la absorción (lineal). Ha de observarse además que en la bibliografía, los valores reivindicados para los valores umbral de LIOB difieren ampliamente, incluso por encima de tres órdenes de magnitud. Para ser precisos, estos valores se refieren al valor umbral de LIOB en el agua. Para la presente invención, se supone, tal como parece soportarse por la evidencia encontrada por los inventores, que el valor umbral de LIOB en el agua corresponde sustancialmente al valor en el tejido de la piel, que es un tejido bastante acuoso. Aunque la diferencia en los valores umbral de LIOB encontrados puede estar relacionada con cuestiones tales como calidad y perfil de impulso, técnicas de medición, etc., es suficiente decir que un experto en la técnica encontrará un ajuste apropiado del láser y el sistema óptico para obtener la LIOB.

Una observación adicional sobre el presente dispositivo es que varias partes no se elaboran adicionalmente. Esto se aplica en particular para un sistema de reconocimiento de imagen (pelo), con una ventana óptica en el alojamiento del dispositivo, una unidad de control para controlar la fuente láser y el manipulador óptico, basándose en imágenes del sistema de reconocimiento de imagen, etc. Una descripción detallada del sistema de reconocimiento de imagen, su funcionamiento y el sistema de control se omite aquí para una mayor simplicidad. Sin embargo, se hace referencia al documento WO-A-00/62700. El dispositivo de eliminación de pelo descrito en el mismo tiene un sistema de reconocimiento de imagen y sistema de control similares, y su funcionamiento se describe en detalle en el mismo. Basándose en dicha descripción en el documento WO-A-00/62700, el experto en la técnica podrá diseñar y adaptar cualquier sistema de reconocimiento de imagen y sistema de control de modo que sea adecuado para su fin en el presente dispositivo.

Además de una reducción de consumo de energía, la presente invención proporciona también una ventaja en que la reducción de la energía en los puntos focales individuales es más segura para la piel, lo que da como resultado mayor libertad en el diseño del dispositivo. Además, el dispositivo de la técnica anterior con impulsos consecutivos da como resultado bordes de corte relativamente desiguales de la barba restante, que es indeseable, ya que puede ser la causa básica para la aparición de pelo que crece hacia dentro.

Existen diversas maneras de proporcionar al menos dos puntos focales de radiación láser que se superponen en el tiempo. En una primera realización, la fuente láser está construida y dispuesta para proporcionar una pluralidad de haces láser que se superponen en el tiempo. En este caso, puede estar presente una pluralidad de subfuentes láser, por ejemplo estando controlada cada una superpuesta en el tiempo para emitir radiación láser. Esto ofrece una libertad de diseño óptima, y tiene la ventaja adicional de que es muy simple garantizar que los haces láser emitidos se emiten paralelos entre sí.

En otra realización particular, el sistema óptico comprende un elemento multiplicador de haz que está construido y dispuesto para multiplicar un haz incidente de radiación láser en una pluralidad de haces láser de salida simultánea. Cuando se toma un único haz de radiación láser, o un número pequeño de tales haces láser, y se multiplican en una pluralidad de haces láser de salida, es muy fácil garantizar su emisión simultánea. Además, puesto que sólo se requiere una única fuente láser o un pequeño número de fuentes láser, el diseño del dispositivo puede ser relativamente simple y compacto.

En una realización particular, el sistema óptico comprende una rejilla de difracción. Tal como se conoce bien en la técnica, una rejilla de difracción puede dividir un haz incidente en una pluralidad de haces, según las diferentes órdenes de la rejilla de difracción. Como alternativa al uso de una rejilla de difracción, por ejemplo, pueden usarse divisores de haz, espejos semitransparentes, etc. Todos estos sistema ópticos pueden proporcionar una pluralidad de haces láser de salida simultánea con sustancialmente la misma potencia o con potencias diferentes, dependiendo de su diseño. Por ejemplo en el caso de la rejilla de difracción, que es preferiblemente una rejilla de difracción de fase en vista de las densidades de potencia que tiene que manejar la rejilla de difracción, es posible proporcionar sustancialmente potencias iguales para los haces láser de salida diseñando apropiadamente el perfil de transmisión o reflexión de la rejilla de difracción, y en particular el perfil de grosor de la rejilla de difracción de fase. Esto se conoce bien en la técnica.

En una realización especial, el elemento multiplicador de haz es móvil, preferiblemente giratorio o pivotante. En particular, el elemento multiplicador de haz es móvil de tal manera que permite que los puntos focales de los haces láser de salida simultánea se coloquen correctamente con respecto a un pelo que va a cortarse. Se encontró por los inventores que es ventajoso proporcionar los puntos focales en un plano o sobre una línea que se extiende de manera sustancialmente perpendicular a la dirección del tallo del pelo. Esto no es sólo debido al hecho de que, en ese caso, el área superficial de sección transversal o diámetro del pelo es mínimo. Se refiere también a un fenómeno observado por los inventores que se refiere a la dirección preferida de fractura. Tal como se explicará en la descripción de las figuras, en particular las figuras 5a-c, las direcciones preferidas de fractura de un pelo están a lo largo de la dirección del cabello o tallo del pelo, y en un plano perpendicular a los mismos. Por tanto, si la línea que conecta los puntos focales adyacentes coincide con una dirección preferida de una fractura, se obtiene el mayor efecto de colaboración entre los efectos mecánicos de LIOB en los puntos focales adyacentes. En ese caso, se requiere la menor energía para cortar el pelo. Proporcionar un elemento multiplicador de haz móvil es una manera de proporcionar los puntos focales en una posición de este tipo. Un movimiento giratorio sirve para adaptar la

posición de los puntos focales en una dirección, mientras que un movimiento pivotante adapta la posición en dos direcciones. Se observa que puede usarse el pivotado para por ejemplo espejos semitransparentes, pero en el caso de rejillas de difracción existen limitaciones, puesto que éstas están diseñadas para un cierto ángulo de incidencia, lo más a menudo una incidencia perpendicular. Sin embargo, es posible el giro alrededor de la dirección del haz incidente.

Una alternativa podría ser un diseño apropiado del manipulador óptico. Puesto que el manipulador óptico se diseñó desde el principio para colocar los puntos focales respectivos en posiciones objetivo respectivas, es relativamente fácil incorporar la funcionalidad deseada en sus mecanismos. Para una discusión básica de un manipulador óptico de este tipo, se hace referencia al documento WO-A-00/62700.

En una realización especial, el número de puntos focales que se superponen en el tiempo está entre 2 y 20. Aunque, en principio, el número de puntos focales no está limitado, se encontró que un número entre 2 y 20 producía un efecto beneficioso en efectos mecánicos de colaboración de LIOB en puntos focales, mientras que se impedía un diseño complejo del dispositivo. En la práctica, el número de puntos focales será normalmente igual al número de posiciones objetivo y también igual al número de impulsos por láser, que en este caso se proporcionan todos superpuestos en el tiempo. Obsérvese que no es necesario que éste sea el caso, puesto que dos o más impulsos por láser que se superponen en el tiempo de un número total mayor de impulsos por láser pueden proporcionar ya un efecto beneficioso. Por ejemplo, ya es ventajoso proporcionar dos o más ráfagas de impulsos por láser, siempre que en al menos una de esas ráfagas existan al menos dos impulsos por láser que se superponen en el tiempo.

En una realización particular, la rejilla de difracción puede proporcionar entre 2 y 20 haces láser de salida para cada haz láser incidente. En principio, puede proporcionarse cualquier número deseado de haces láser de salida mediante una única rejilla de difracción o rejilla de difracción combinada. Sin embargo, los números entre 2 y 20 haces láser de salida parecen apropiados para limitar la complejidad de la rejilla de difracción. Obsérvese que es posible proporcionar números pares de haces láser de salida, por ejemplo, cubriendo un número deseado de haces láser de salida, tales como el haz central de orden cero.

En una realización particular, una distancia entre puntos focales adyacentes que se superponen en el tiempo es como máximo igual a una distancia útil mecánica eficaz del fenómeno de descomposición óptica inducida por láser en los puntos focales. Esto se refiere a una elaboración de la colaboración de los efectos mecánicos del fenómeno de LIOB provocados en los puntos focales. Se cree que los efectos mecánicos son ondas de choque y/o cavitación en el tejido capilar. Esto puede provocar un daño en el pelo, que finalmente romperá el pelo. Tales ondas de choque y cavitación producirán un daño en el pelo por encima de una cierta distancia, que es dependiente de la densidad de potencia y la duración de impulso, y también de la dirección en el pelo (dirección de fractura preferente). Aunque es difícil predecir valores exactos para la distancia útil mecánica eficaz, puesto que el mecanismo no se entiende completamente, es relativamente fácil determinar esta distancia útil mecánica eficaz en la práctica. Experimentos simples enseñarán al experto en la técnica un valor apropiado de la distancia útil mecánica eficaz para los ajustes seleccionados del láser, tales como la densidad de potencia pico, el perfil de potencia de impulso y la duración de impulso, y el número de puntos focales. Otro factor que puede influir en la distancia útil mecánica eficaz es, tal como se mencionó anteriormente, la dirección en el pelo. La distancia útil mecánica eficaz será mayor a lo largo de una dirección preferente de una fractura en el pelo. A continuación en el presente documento, así como en la descripción de las figuras, se dan algunos valores experimentales.

En particular, dicha distancia entre puntos focales adyacentes se selecciona para ser como máximo igual al diámetro de un pelo que va a cortarse, dividido por el número de puntos focales que se superponen en el tiempo. Por tanto proporcionando los puntos focales que se superponen en el tiempo en una distribución regular, preferiblemente a lo largo de una línea recta, incluso más preferiblemente de manera perpendicular a la dirección del cabello o tallo del pelo, se garantiza una alta eficacia de corte de LIOB del pelo. Esta característica técnica implicará un cierto diseño para el sistema óptico, que se determina fácilmente por el experto en la técnica. Obsérvese que en el caso anterior, todos los puntos focales están presentes en el pelo. Esto no es estrictamente necesario, tal como se explicará en algunos casos a continuación en el presente documento. Sin embargo, si todos los puntos focales están presentes en el pelo, en principio toda la energía absorbida en el mismo puede usarse para cortar el pelo, lo que aumenta la eficacia. En otra realización preferida, los puntos focales tienen una distancia máxima entre sí que es igual al diámetro de un pelo promedio, en particular aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ . Obsérvese que esto incluye el caso en el que los puntos focales adyacentes están mucho más próximos que la distancia máxima. Por supuesto es posible seleccionar un valor diferente de la distancia máxima, que corresponde a un valor diferente para el diámetro de pelo máximo, por ejemplo 150  $\mu\text{m}$ . Este último valor cubre la mayoría de los tipos de pelo de todo el cuerpo e incluso de todas las razas humanas.

En una realización particular, la energía en cada impulso por láser es tal que dicha distancia útil mecánica está entre 5 y 50  $\mu\text{m}$ , preferiblemente entre 10 y 25  $\mu\text{m}$ . En este caso, los valores para la distancia útil mecánica eficaz están basados en un número preferido de puntos focales, concretamente entre 2 y 20, y un diámetro promedio de un pelo humano, concretamente 100  $\mu\text{m}$ . Por supuesto, si se toma un valor diferente para el diámetro del pelo, tal como 150  $\mu\text{m}$ , o se supone un número diferente de puntos focales, la distancia útil mecánica eficaz debe adaptarse de manera

correspondiente.

Se observa que en la descripción de la invención y en las reivindicaciones, la dimensión requerida del punto focal, la potencia requerida de la radiación láser generada, y la energía y la distancia útil mecánica eficaz se definen en términos del resultado que va a lograrse, es decir de tal manera que, en el punto focal, se produce un fenómeno de LIOB en el tejido capilar o de tal manera que los efectos mecánicos de dicho fenómeno de LIOB se superponen para puntos focales adyacentes. Sin embargo, se ha observado que para una fuente láser dada con una duración de impulso y energía de impulso predeterminadas, y para un número dado de puntos focales y una dimensión dada de pelo, un experto en la técnica podrá determinar la dimensión requerida del punto focal basándose en la duración de impulso, la energía de impulso, si es necesario el perfil de potencia de impulso y el valor umbral característico para LIOB, o la geometría del pelo y el número de los puntos focales en el pelo, respectivamente. Con esa información, el experto en la técnica podrá diseñar un sistema óptico adecuado que proporcione las dimensiones necesarias del punto focal o la geometría o patrón requeridos de los puntos focales en el pelo. Será obvio además para el experto en la técnica que si se usa una fuente láser que tiene una duración de impulso más corta o un perfil de potencia de impulso más eficaz, o un sistema óptico que proporciona un mayor número de puntos focales, se pueden hacer correcciones correspondientes del punto focal (patrón). Como se indicó anteriormente, experimentos simples mostrarán al experto en la técnica cómo conseguir esas correcciones.

Para proporcionar algunas figuras, y algunas reglas de oro, a continuación se dan varios valores particulares. En particular, el presente dispositivo está construido y dispuesto para proporcionar una energía total E que se absorbe en todos los puntos focales de los impulsos por láser en un pelo, energía total que es inferior a una energía total correspondiente E(pa) que se absorbe en el caso en el que todos los impulsos por láser se habrían suministrado de manera consecutiva. En una realización especial, dicha energía total E es al menos un 10% menor que 4 mJ para un pelo de barba humano promedio, y preferiblemente es de aproximadamente 2 mJ para un pelo de barba humano promedio. Estas realizaciones muestran que la presente invención permite un corte más eficiente en energía del pelo debido a la colaboración de los puntos focales individuales. Puesto que la energía para cortar o romper un pelo depende de diversos factores, en particular el diámetro del pelo y también el perfil de potencia de impulso, propiedades de absorción lineal del pelo, etc., lo mejor es determinar los valores apropiados para los diversos tipos de pelo experimentalmente. Para un pelo de barba humano promedio, que tiene un diámetro de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ , la energía típica necesaria para romper el pelo con el dispositivo de la técnica anterior es de aproximadamente 4 mJ. El presente dispositivo permite una reducción de energía sustancial que asciende a al menos el 10% y puede ser de hasta el 50% o incluso mayor. Esto representa el valor de aproximadamente 2 mJ, en la práctica entre 1,5 y 3 mJ, para el pelo de barba humano promedio.

En una realización particular, los puntos focales que se superponen en el tiempo se proporcionan en un patrón 3D, preferiblemente un tetraedro, que se extienden en o a través del pelo que va a cortarse. Proporcionando un patrón 3D, que puede ser regular o irregular, se reduce la sensibilidad del dispositivo en cuanto a la orientación del pelo. Por ejemplo, cuando los puntos focales se proporcionan en un plano que forma un ángulo muy pequeño con la dirección del tallo del pelo, puede resultar que sea bastante difícil romper el pelo. Sin embargo, cuando se proporciona un patrón 3D de puntos focales, es fácil proporcionar siempre un plano de puntos focales que forme un ángulo grande con dicha dirección, preferiblemente al menos 60-90°. Esto garantiza que exista siempre un área eficaz de puntos focales para romper el pelo. El tetraedro, o un área dispuesta regularmente de tetraedros, es un área 3D eficaz de este tipo de puntos focales.

En otra realización particular, los puntos focales que se superponen en el tiempo se proporcionan en un plano que se extiende a través de un pelo que va a cortarse, preferiblemente de manera sustancialmente perpendicular a la dirección del tallo del pelo. Si los puntos focales se proporcionan en un plano, su número puede limitarse, cuando se compara con el patrón 3D. Se prefiere entonces proporcionar dicho plano de tal manera que se extienda de manera sustancialmente perpendicular a la dirección del tallo del pelo. En este contexto, "de manera sustancialmente perpendicular" significa "en un ángulo de al menos 60°, preferiblemente 90°", con respecto a dicha dirección. No se excluyen otras direcciones, pero pueden requerir más puntos focales, y por tanto son menos eficientes en energía. Obsérvese además que el plano no tiene que ser perfectamente liso o plano, aunque un plano no liso de este tipo podría considerarse también un patrón 3D.

En una realización particular, los puntos focales que se superponen en el tiempo se proporcionan en un patrón triangular, preferiblemente un patrón equilátero. De manera similar a la discusión anterior respecto al tetraedro, un patrón triangular, y preferiblemente un patrón triangular equilátero, ofrece un patrón eficaz en 2D para garantizar una baja sensibilidad en cuanto a la orientación del pelo.

En una realización especial los puntos focales que se superponen en el tiempo se proporcionan sobre una línea que se extiende a través de un pelo que va a cortarse, preferiblemente de manera sustancialmente perpendicular a la dirección del tallo del pelo. En el presente documento, la línea no tiene que ser recta, aunque una línea no recta podría considerarse también un patrón 2D ó 3D. Además, la expresión "de manera sustancialmente perpendicular" tiene el mismo significado que en el caso del plano mencionado anteriormente. Preferiblemente, la línea se extiende a través del centro del pelo que va a cortarse. Esto garantiza que se requiera la mínima cantidad de energía para cortar todo el pelo. "A través del centro del pelo" comprende el caso en el que la línea tiene una distancia de no más

de 15  $\mu\text{m}$ , preferiblemente no más de 5  $\mu\text{m}$ , al centro del pelo. Sin embargo, obsérvese que el centro o médula del pelo es en sí mismo principalmente un tejido blando, adiposo con propiedades mecánicas que son menos adecuadas para la generación y transporte de los efectos mecánicos que acompañan a la LIOB, es decir dichas propiedades son menos adecuadas para cortar el pelo. Por tanto, proporcionar puntos focales dentro de la médula es menos eficiente, y se impide preferiblemente. Por esa razón, el patrón de puntos focales en el pelo puede adaptarse de manera correspondiente, tal como sólo por fuera de la médula. Sin embargo, obsérvese que no cada pelo tiene una médula. Es posible también suministrar más energía a cualquier punto focal en la médula, para compensar la eficacia inferior de la LIOB dentro de la médula. Tal energía aumentada para un punto focal central puede proporcionarse por ejemplo mediante un diseño adecuado de una rejilla de difracción u otro elemento óptico.

En una realización particular, se selecciona una densidad de potencia pico en un punto focal durante un impulso por láser para ser al menos igual a un valor umbral característico  $D_h$  para tejido capilar, por encima del cual, para la duración de impulso predeterminada, se produce un fenómeno de descomposición óptica inducida por láser en el tejido capilar, pero por debajo de un valor umbral característico  $D_s$  para el tejido de la piel, por encima del cual, para la duración de impulso predeterminada, se produce un fenómeno de descomposición óptica inducida por láser en el tejido de la piel. Seleccionando la densidad de potencia pico por encima del valor umbral  $D_h$ , puede generarse un fenómeno de LIOB en el pelo. Sin embargo, puesto que la densidad de potencia pico se selecciona también para ser menor que el valor  $D_s$  para un tejido de la piel, no se generará el fenómeno de LIOB en la piel. Por tanto, no se provocarán efectos mecánicos negativos en la piel. Esto impedirá el dolor y otras incomodidades, y es más seguro de manera inherente. En esta realización, se hace uso del hecho de que el valor umbral  $D_s$  es mayor que el valor umbral  $D_h$ .

En particular dicha densidad de potencia pico está entre el 60% y el 95% de  $D_s$ , preferiblemente entre el 70 y el 85% de  $D_s$ . Se encontró por los inventores que el 60% de  $D_s$  es la densidad de potencia pico más baja útil, aunque en algunos casos podrían usarse valores incluso menores. Además, el 95% de  $D_s$  demostró ser un valor suficientemente seguro de la densidad de potencia pico mayor. Preferiblemente, para encontrarse en el lado seguro para sustancialmente todos los tipos de piel y pelo, la densidad de potencia pico se selecciona para estar entre el 70 y el 85% de  $D_s$ . En este intervalo, la LIOB se genera de manera fiable en la mayoría de los tipos de pelo, mientras que se impide la LIOB de manera fiable en la mayoría de los tipos de tejido de la piel.

En una realización particular, dicha densidad de potencia pico está entre  $4 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$  y  $7,5 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$ , preferiblemente entre  $5,5 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$  y  $7 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$ . Obsérvese que los valores anteriores son también dependientes de la duración de impulso. En general, una duración de impulso más corta requiere una densidad de potencia pico mayor. Los valores dados se aplican para duraciones de impulso entre aproximadamente 1 y 20 ns, en particular para valores de 8-10 ns. El experto en la técnica no tendrá problemas en adaptar los valores de densidad de potencia pico a los que corresponden a diferentes duraciones de impulso.

Estos valores se han determinado por los inventores para corresponder a los intervalos mencionados anteriormente del 60% al 95% de  $D_s$ , y 70-85% de  $D_s$ , respectivamente. En este caso, el valor  $D_s$  tal como se determina por los inventores es aproximadamente  $8 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$ . Tal como se mencionó anteriormente, existe una gran discrepancia entre el valor para el umbral de LIOB en el agua, tal como se determina por diversos grupos de investigación, y el valor que, para la presente invención, se supone que corresponde sustancialmente al valor de  $D_s$ . Sin embargo, se ha observado que los intervalos indicados para la proporción entre la densidad de potencia pico y el valor para  $D_s$  se aplican en principio independientemente del valor medido realmente de  $D_s$ . Esto hace uso del hecho de que independientemente del factor que influya en la medición de  $D_s$ , esté influirá también, y de manera similar, en la medición de  $D_h$ .

En una realización especial, un perfil temporal de la densidad de potencia del impulso es tal que la densidad de potencia pico, y preferiblemente el valor umbral  $D_h$ , se alcanza un lapso de tiempo después del inicio del impulso que es menor que la mitad de la duración del impulso, preferiblemente después de un lapso de tiempo que es menor que el 25% de la duración de impulso. Esta etapa de proporcionar la densidad de potencia con un cierto perfil temporal se denomina a veces "conformación de impulso" o "creación de impulso". El propio principio se conoce bien por el experto en la técnica en el campo de la técnica láser, o ingeniería eléctrica en general. Un ejemplo de una técnica que puede usarse en la conformación de impulsos es la conmutación Q lenta de la fuente láser. El experto en la técnica encontrará fácilmente otros ejemplos.

El efecto de conformación de impulso será que una parte mayor de la energía se acople en el plasma. Esto se debe al hecho de que, en la LIOB, la energía óptica sólo se absorbe (sustancialmente) por un plasma, que a su vez se genera por la presencia de una densidad de potencia suficientemente alta de energía óptica, concretamente el valor umbral. Si el impulso fuera simétrico, y la densidad de potencia pico fuera igual al valor umbral, entonces aproximadamente la mitad de la energía del impulso se absorbería en el plasma. En otras palabras, la mitad restante de la energía se transmitiría por el tejido sin absorción, excepto por la absorción lineal. Conformando el impulso de tal manera que la densidad de potencia alcance el valor umbral antes, es decir antes de la mitad de la duración de impulso, puede absorberse una parte mayor de la energía de impulso por el plasma. Esto puede provocarse por supuesto seleccionando una densidad de potencia pico que sea (mucho) mayor que el valor umbral. Sin embargo, es desventajoso, aunque no se excluye, aumentar la densidad de potencia pico a un valor por encima del valor

umbral  $D_s$  para el tejido de la piel, por las razones ya mencionadas anteriormente. Mediante la conformación de impulso apropiada, es posible aumentar rápidamente la densidad de potencia hasta o por encima del valor  $D_h$  y posteriormente mantener el impulso a un nivel relativamente alto durante un tiempo relativamente largo, de modo que no se pierda casi energía durante el tiempo antes de que se genere el plasma de la LIOB. En principio, sería preferible una inclinación de densidad de potencia que fuera tan empinada como sea posible. Sin embargo, ya es ventajosa la conformación de impulso a la que se alcanza el valor umbral  $D_h$  antes de la mitad de la duración del impulso, preferiblemente a más tardar al 25% de la duración de impulso.

En otra realización particular, un perfil temporal de la densidad de potencia es tal que más del 50%, preferiblemente más del 70%, de la energía en el impulso se suministra al punto focal después de alcanzar la densidad de potencia pico. Esta realización tiene en cuenta el hecho de que la energía en el impulso sólo puede absorberse por el plasma. Dicho de otro modo, sólo durante la presencia del plasma es posible que la energía óptica se absorba. Sin embargo, el plasma tiene una vida muy corta debido a la recombinación de las partículas ionizadas generadas. Sin la energía añadida durante la vida útil del plasma, la vida media promedio (tiempo de recombinación) del plasma es de unos pocos ns. Por tanto, es menos ventajoso si, en el impulso, la densidad de potencia alcanza el valor umbral  $D_h$  en un tiempo muy corto, después del cual la densidad de potencia cae a un valor que es muy inferior a este valor umbral, puesto que en ese caso se recombinaría una gran parte del plasma, y por tanto desaparecería, bastante rápido. Esto privaría al plasma de la posibilidad de absorber la energía en el resto del impulso. Por tanto, después de que el valor umbral  $D_h$  se haya alcanzado, la densidad de potencia en el impulso se mantiene ventajosamente en un nivel relativamente alto, por ejemplo al menos del 75% de  $D_h$ . Todo esto depende de las propiedades específicas del plasma, que a su vez son dependientes de la densidad de potencia (pico), etc. Sin embargo, los perfiles de densidad de potencia útiles para el impulso pueden determinarse fácilmente mediante experimentos.

Estos y otros aspectos de la invención resultan evidentes a partir de y se aclararán con referencia a las realizaciones descritas a continuación en el presente documento.

En los dibujos:

la figura 1 muestra de manera esquemática una realización de un dispositivo según la invención;

la figura 2 muestra de manera esquemática una vista en sección transversal de un pelo que se corta mediante un dispositivo según la invención;

las figuras 3a, b muestran el perfil temporal de la potencia de impulso pico para un impulso (3a) gaussiano normal y para un impulso (3b) creado;

la figura 4 muestra de manera esquemática una vista en sección transversal de un pelo que se corta mediante otra realización de un dispositivo según la invención; y

las figuras 5a, b y c muestran patrones de daño típicos de un pelo en tres cantidades diferentes de energía suministrada total.

La figura 1 muestra de manera esquemática una realización del dispositivo según la invención. El dispositivo comprende un alojamiento 1 con una fuente 2 láser que emite un haz 3 láser que se refleja (opcionalmente) mediante un espejo 4 fijo opcional y pasa por un elemento 5 de enfoque óptico y un elemento 6 multiplicador de haz que lo convierte en una pluralidad de haces 7 láser enfocados (sólo se muestra uno). La pluralidad de haces 7 enfocados se refleja mediante un espejo 8 que es móvil alrededor de un pivote 9. Cada uno de la pluralidad de haces láser enfocados forma un foco 10, y abandona el alojamiento 1 a través de la ventana 11 óptica.

Una cámara DAC se indica mediante 12 y se conecta a una unidad 13 de control que está conectada también a la fuente 2 láser y el espejo 8.

Además, el número de referencia 18 indica la piel, con varios pelos 20.

El alojamiento 1 puede ser cualquier tipo de alojamiento que se ajuste a las partes. Puede estar hecho de cualquier material deseable o combinación de los mismos, tal como metal o plástico. En particular para el uso del consumidor, puede tener la forma de una afeitadora eléctrica común, aunque no se excluyen otras formas.

La fuente 2 láser puede ser en principio cualquier fuente láser deseada que emita en una región de longitud de onda deseable de aproximadamente entre 500 nm y 1500 nm. En particular, comprende un láser NdYAG que emite a 1064 nm, u otro láser de estado sólido adecuado, o un tipo diferente de láser. Preferible, pero no exclusivamente, el láser es un láser pulsado que puede emitir impulsos con un periodo de aproximadamente 0,1 ns - 100  $\mu$ s. La densidad de potencia es preferiblemente tal que en un periodo de este tipo, los haces láser emitidos pueden iniciar una LIOB en un pelo. Puesto que la densidad de potencia pico depende fuertemente de la óptica de enfoque, no es posible basar un criterio de potencia estricto en esta condición. Sin embargo, para cortar un pelo, el/los haz/haces láser debe(n) poder proporcionar preferiblemente unos pocos mJ en ese mismo periodo a un pelo promedio. La

energía total necesaria para cortar a través de un pelo depende del diámetro del pelo, pero es seguro suponer un límite de potencia inferior de 1 mJ en los haces láser enfocados durante 100  $\mu$ s. Obsérvese que la densidad de potencia no tiene que ser una constante durante ese periodo de tiempo. Tal como se ha comentado anteriormente, la conformación de impulso es ventajosa.

El generador para la fuente 2 láser no se ha mostrado. Puede ser de cualquier tipo de generador, tal como una batería, o una conexión externa, tal como potencia de red principal, etcétera. Es posible también proporcionar la fuente 2 láser como una fuente externa, tal como una unidad láser separada, por ejemplo para aplicaciones de gran capacidad, en salones de belleza, etcétera. En un caso de este tipo, el haz láser emitido puede acoplarse en el dispositivo por medio de un acoplamiento de fibra, espejos, etc.

En el presente dispositivo, la fuente 2 láser emite un haz 3 láser que se refleja mediante un espejo 4 fijo. En principio, este espejo 4 es opcional, y aquí sirve sólo para apuntar el haz 3 láser al espejo 8 móvil. En otros casos, con una configuración diferente para la fuente láser, puede omitirse.

El elemento 5 de enfoque óptico es por ejemplo una lente, preferiblemente, con un umbral alto de daño y optimizada para la longitud de onda láser asociada con propiedades de enfoque y transmisión. La última condición se aplica para todas las partes ópticas del dispositivo, en vista de la densidad de potencia bastante alta. Obsérvese que también es posible combinar el espejo 4 opcional y el elemento 5 óptico en un elemento óptico, tal como un espejo de enfoque.

El elemento 6 multiplicador de haz es en este caso una rejilla de difracción de fase, es decir una rejilla de difracción hecha de un material transmisivo y que tiene un grosor que varía por su ancho. Debido a las diferencias de fase provocadas por la longitud de trayecto adicional a través del material, los efectos de interferencia garantizan que el único haz láser incidente se convierta en varios subhaces. Mediante la conformación apropiada de la rejilla de difracción de fase, es posible proporcionar a cada uno de los subhaces una potencia (densidad) sustancialmente igual, aunque esto no es estrictamente necesario. El número de subhaces también depende de la forma exacta de la rejilla de difracción de fase. Alternativamente, también es posible usar espejos semitransparentes, divisores de haz ópticos, etc., para obtener varios subhaces.

En el caso de una rejilla de difracción de fase, y los otros multiplicadores de haz, puede ser ventajoso redirigir los subhaces para que discurran en una dirección deseada, para poder apuntar los subhaces y sus focos al pelo que va a cortarse. Para este fin, puede proporcionarse un elemento óptico adicional (no mostrado), tal como una lente o una lente múltiple, o uno o más espejos, por detrás del elemento 6 multiplicador de haz. Una dirección preferida es una dirección paralela, aunque esto no es estrictamente necesario. También es posible proporcionar un elemento 5 de enfoque adecuado por detrás del elemento 6 multiplicador de haz, de modo que es posible combinar la acción de redirección de subhaz y la acción de enfoque en un elemento, o al menos un grupo de partes en el dispositivo.

Opcionalmente, el elemento 6 multiplicador de haz es móvil, por ejemplo alrededor de un pivote de multiplicador de haz (no mostrado), y a continuación se conecta a la unidad de control para controlar el movimiento. Esta realización es útil para poder cortar pelo que está presente en un ángulo no deseado con respecto a los subhaces enfocados. Mover, tal como hacer girar, el elemento 6, tal como la rejilla de difracción de fase, hace posible ubicar los focos 10 que corresponden a los subhaces enfocados en un ángulo adecuado con respecto al pelo 20. Obsérvese que también es posible realizar esta acción de ubicación de foco mediante otros medios, tales como colocando de manera apropiada el espejo 8 móvil que se comentará a continuación en el presente documento, o por medio de un elemento óptico adicional (no mostrado) situado justo delante de la ventana 11 óptica.

El espejo 8 móvil es móvil alrededor de un pivote 9 por medio de uno o más actuadores (no mostrados). Esto permite apuntar los (sub)haces enfocados a una posición deseada con respecto al dispositivo, o dicho de otro modo seleccionar un pelo que va a cortarse. Obsérvese que también es posible usar dos o más espejos separados en lugar de un único espejo 8, por ejemplo si se desea simplificar el control en las dirección x e y.

El espejo 8 o, más precisamente, los actuadores por tanto, se conectan a una unidad 13 de control para el movimiento controlado del espejo. Ésta puede ser un microordenador adecuado u otro conjunto de circuitos.

Para habilitar el control, el dispositivo también comprende un sistema de reconocimiento de imagen, tal como por ejemplo el dispositivo "apunta y dispara" dado a conocer en el documento WO-A-00/62700, en particular el sistema de reconocimiento de pelo y la parte de sistema para dirigir los (sub)haces hacia la parte deseada del pelo que va a cortarse. En el presente caso, dicho sistema comprende una cámara 12 DAC y por ejemplo un software de reconocimiento de pelo en la unidad 13 de control para la evaluación de la imagen de la piel 18 con pelo 20. Si se desea, o es necesario, el experto podrá adaptar un sistema de reconocimiento de imagen y control de este tipo a sus necesidades. El sistema de control también estará conectado a la fuente láser, para su control. Obsérvese que puede omitirse un sistema de reconocimiento de imagen por ejemplo si el/los haz/haces láser explora(n) toda la piel con los niveles de potencia pico en los focos que produce la LIOB en el pelo pero no en la piel. Sin embargo, en vista de un rendimiento energético y la prevención de una posible irritación de la piel, etcétera, la realización con un sistema de reconocimiento de pelo es ventajosa.



Las alternativas a una cámara 12 DAC son una cámara basada en SCOM, etc. El campo de visión será similar al campo de salida de los haces enfocados y sus focos 10, y será una parte de la ventana 11 óptica, a través de la que dichos haces enfocados abandonan el dispositivo. La ventana óptica podría ser simplemente una abertura en el alojamiento 1 del presente dispositivo, o podría estar hecha de un material ópticamente transparente. Preferiblemente, el material puede resistir la alta densidad de potencia, por tanto tiene una alta transmisión a la longitud de onda usada. Ventajosamente, la ventana 11 óptica está hecha de un material tal como zafiro, que tiene un coeficiente útil de conductividad térmica, y por tanto puede enfriar la piel de manera eficaz. También son posibles otros materiales, tales como diversos tipos de vidrio.

En uso, por ejemplo para afeitar la barba de un hombre, el dispositivo en conjunto se moverá por la piel. La cámara 12 DAC tomará imágenes de la piel. La unidad 13 de control evaluará las imágenes, y determinará la posición de un pelo 20 que va a cortarse. La unidad de control controlará entonces la posición del espejo 8 y activará la fuente 2 láser de tal manera que los focos 10 de los subhaces enfocados apuntarán a dicho pelo 20, para dejar que los fenómenos relacionados con la LIOB en esos focos 10 rompan el pelo 20. Una frecuencia realista para el bucle que comprende el reconocimiento de un pelo, movimiento del espejo 8 y posiblemente otros elementos tales como la rejilla 6 de difracción de fase, y para activar la fuente 2 láser es de aproximadamente 100 Hz. Por supuesto, este número depende considerablemente de la velocidad con la que se mueve el dispositivo por la piel, la densidad del pelo, la velocidad de la unidad 13 de control, etc., y por tanto no deberá considerarse como que limita la invención. Sin embargo, con dicha frecuencia de bucle en Hz, es posible afeitar la barba de un hombre, con un promedio de aproximadamente 12.000 pelos, en aproximadamente 2 minutos.

La figura 2 muestra esquemáticamente una vista en sección transversal de un pelo que se corta mediante el dispositivo de la invención. El pelo 20 tiene una parte central o médula 22. Hay siete focos 10-0 a 10-7 de siete haces láser enfocados 16-1 a 16-7.

El número de focos 10 no se limita a siete, sino que, en principio, puede ser cualquier número múltiple, tal como 2, 3, etc. Los haces láser, y por tanto los focos 10, se suministran superpuestos en el tiempo. Es decir, en momentos en los que los efectos mecánicos del fenómeno de LIOB de al menos dos de la pluralidad de focos 10 se superponen entre sí.

Los focos 10 se muestran ubicados en una línea sustancialmente recta. Sin embargo, también es posible ubicarlos en una línea ondulada o irregular de otro modo. De hecho, también es posible proporcionar los focos 10 en un patrón 2D o 3D, que puede ser regular o irregular. Una línea recta, bien colocada con respecto al pelo, tiene la ventaja de que se requiere un número mínimo de focos, en comparación con otros patrones de focos cada uno con una densidad de energía igual.

Un patrón 2D útil podría estar en forma de un triángulo equilátero (no mostrado en este caso), porque un patrón de este tipo es bastante insensible a la colocación angular de los haces con respecto al pelo 20. De hecho, cualquier patrón 2D, con focos 10 en un plano que interseque con el pelo 20, es menos sensible en cuanto a la orientación angular que la línea recta. Por supuesto, el rendimiento energético será algo menor en la mayoría de los casos, puesto que o bien aumenta la distancia promedio entre los focos 10, o bien su número absoluto o la energía de cada uno, o una combinación de estos factores. Se aplican consideraciones similares para patrones 3D, tal como se comentó anteriormente, de los que un tetraedro isósceles es un ejemplo (no mostrado).

Las figuras 3a, b muestran el perfil temporal de la potencia de impulso pico para un impulso (3a) gaussiano normal y para un impulso (3b) creado.

La figura 3a muestra un impulso gaussiano normal y su potencia suministrada en el foco. La potencia pico aumenta suavemente hasta un valor umbral  $D_h$  en el que se inicia el fenómeno de LIOB en el pelo y continúa aumentando hasta su valor pico, que preferiblemente debería quedar por debajo del valor umbral de LIOB  $D_s$  en la piel. Obsérvese que éste no tiene que ser el caso cuando todos los focos están presentes en el pelo, o si se permite una LIOB en la piel, por ejemplo si el número de fenómenos de LIOB en la piel es muy bajo. Como la potencia de impulso pico es sólo ligeramente mayor que  $D_h$ , y el impulso es simétrico en el tiempo, sólo aproximadamente la mitad de la energía disponible puede acoplarse en el plasma, que existe sólo después del tiempo  $t_1$ , es decir el tiempo en el que se alcanza el valor umbral por primera vez. De hecho, la energía sólo puede acoplarse en el plasma mientras que existe dicho plasma. El plasma se forma en  $t_1$ , es decir el tiempo para alcanzar el umbral de LIOB, y existe hasta que  $t_3 = t_2 + t_r$ , es decir hasta un tiempo de recombinación de plasma después del tiempo  $t_2$ , es decir cuando la densidad de potencia cae por debajo de dicho umbral. Aunque dicho tiempo de recombinación depende de varios factores, tales como densidad de partícula de plasma pico y de hecho también de la cantidad y densidad de energía acoplada en el plasma, un tiempo de recombinación promedio  $t_r$  será de aproximadamente algunos ns (1-10 ns).

La figura 3b muestra un impulso con un perfil de densidad de potencia "creado". La densidad de potencia se aumenta muy rápidamente hasta el tiempo  $t_4$ , hasta un valor por encima del umbral de LIOB  $D_h$  en el pelo, pero todavía por debajo del umbral de LIOB en la piel, no siendo esto de nuevo estrictamente necesario. Después, y

hasta un tiempo  $t_5 = t_4 + t_r$ , puede suministrarse energía al plasma. Como ahora sólo se pierde poca energía durante la primera fase del impulso, es decir antes de alcanzar el umbral  $D_h$ , el rendimiento energético puede casi duplicarse. En este caso se indica que esto es más bien un asunto teórico, puesto que hay varias densidades de potencia que desempeñan un papel en el comportamiento del plasma, tal como un valor umbral de efecto multifotón inicial, un umbral en el que puede desarrollarse el plasma, etcétera. Como estos valores son además bastante difíciles de medir, la relevancia de estos umbrales para la presente solicitud es sólo limitada.

El experto en la técnica conoce las técnicas para una conformación de impulsos de este tipo. Puede hacerse referencia a la conmutación Q lenta del láser, etcétera. Se observa que dicha creación de impulsos puede optimizarse, dependiendo por ejemplo de la proporción de la duración de impulso  $t_{\text{pulse}}$  y el tiempo de recombinación de plasma  $t_r$ , etc. Por ejemplo, si  $t_{\text{pulse}}$  es mucho mayor que  $t_r$ , es importante suministrar tanta energía como sea posible en el periodo inmediatamente después del tiempo en el que se alcanza el umbral de LIOB  $D_h$ . Al contrario, si  $t_r$  es mucho mayor que  $t_{\text{pulse}}$ , esto parece ser bastante relevante. Como valores prácticos, aunque no limitativos para  $t_r$  y  $t_{\text{pulse}}$  son 2 ns y 10 ns, respectivamente, la creación de impulsos puede resultar muy útil.

La figura 4 muestra esquemáticamente otra realización del método. En el presente documento, se muestra un pelo 20, y 11 focos 10-1 a 10-11 están presentes en una longitud de 200 mm. Ni el número de focos ni la longitud deben interpretarse como limitativos (se explicará a continuación en el presente documento).

El diámetro de pelo varía por las diferentes partes del cuerpo, y en función de los diferentes tipos de pelo. Por ejemplo, el pelo de la barba es mucho más grueso que un pelo de vello en la frente. Un diámetro máximo de un pelo humano es de aproximadamente 120-150  $\mu\text{m}$ , aunque casualmente pueden encontrarse pelos más gruesos. Con el dispositivo de la presente invención, por supuesto es posible realizar una construcción según el diámetro del pelo, y por consiguiente adaptar la posición de los focos. Sin embargo, esto requiere una cantidad considerable de potencia y tiempo de cálculo. Ahora, proporcionando una línea de focos 10 en una longitud de digamos 120-150  $\mu\text{m}$ , y con densidades de potencia pico en los focos 10 entre el valor umbral de LIOB en el pelo  $D_h$  y en la piel  $D_s$ , es posible usar un ajuste para todos los pelos. Después de todo, en caso de que varios focos caigan fuera de un pelo, la energía para la acción de corte se perderá, pero por otro lado, la densidad de potencia no es lo suficientemente alta para producir una LIOB, y por tanto un daño o dolor, en la piel. Además sigue habiendo energía suficiente para cortar el pelo más fino, porque la cantidad de energía suministrada disminuirá de manera lineal con el número de focos en el pelo, mientras que la energía requerida disminuye de manera aproximada con el cuadrado del diámetro, o al menos más rápidamente que de manera lineal.

Además, proporcionando los focos en una longitud de incluso más que dichos 120-150  $\mu\text{m}$ , tal como por ejemplo 200  $\mu\text{m}$  como se mencionó anteriormente, también es posible cortar los pelos más gruesos sin una colocación muy precisa de los focos. De este modo es posible enfrentarse a imprecisiones en la colocación de los focos, o en el sistema de reconocimiento de pelo. En funcionamiento, esto mejora la velocidad del dispositivo en conjunto.

Las figuras 5a, b y c muestran, en una vista en sección longitudinal, patrones de daño típicos de un pelo con tres cantidades diferentes de energía suministrada total. En cada caso se usan tres focos, y se usa un pelo promedio de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, para el que, digamos, se requerirían 2 mJ para cortar el pelo. Además, los focos se ubican sobre una línea que forma un ángulo de aproximadamente 45° con la dirección longitudinal del pelo, para poder mostrar el comportamiento de fractura específico. Esto no sería visible, o al menos en una medida mucho menor, si los focos se ubicaran sobre una línea perpendicular a la dirección longitudinal del pelo.

La figura 5a muestra el caso en el que la energía suministrada a los focos es demasiado baja, digamos, de 0,5 mJ en total. El pelo no se rompe, aunque es visible un daño en forma de líneas cortas de fractura y una pequeña superficie de fractura, siendo ambas visibles como líneas cortas en esta vista, concretamente dos líneas horizontales y dos líneas verticales, respectivamente, para cada foco. Se encontró que éstas son las direcciones preferentes en las que se produce un daño en el pelo, a saber, fracturas, concretamente la dirección paralela al tallo del pelo, y en un plano perpendicular a esa dirección.

La figura 5b muestra el caso en el que la energía en cada foco es sólo suficiente para que el pelo se rompa en su conjunto. Se encontró que en este caso, las áreas de fractura pequeñas individuales alrededor de los focos se interconectan fácilmente a lo largo de las líneas de fractura entremedias. Dicho de otro modo, se observan signos visuales claros de una especie de colaboración entre los efectos mecánicos de la LIOB en los focos individuales. De hecho, la energía total necesaria en este caso fue menor, hasta aproximadamente un 50% menor, que la energía total en un caso en el que los impulsos se suministran por separado en el tiempo, aunque los puntos focales estén en las mismas posiciones objetivo. Por supuesto, esta energía será mínima cuando los focos estén sobre una línea en el plano de fractura preferente, puesto que entonces la distancia interfocal es mínima.

La figura 5c muestra un caso similar al de la figura 5b, aunque la energía en los focos individuales es algo mayor. Se encontró que, incluso con un ligero aumento de la energía por encima del nivel en la figura 5b, se suprimen las direcciones de fractura preferentes, y el pelo se rompe simplemente en un plano a través de los focos. El resultado

es una superficie de fractura muy lisa, en comparación con una superficie a modo de escalón en el caso de la figura 5b. Esta lisura de la superficie de fractura es otra prueba del valor añadido de los efectos mecánicos de colaboración debido a impulsos de LIOB generados superpuestos en el tiempo.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo para cortar pelo (20), que comprende un sistema de radiación láser y un manipulador óptico,  
 5 en el que el sistema de radiación láser está construido y dispuesto para proporcionar una pluralidad de impulsos por láser enfocados a puntos (10) focales respectivos, y comprende  
 - una fuente (2) láser que está construida y dispuesta para generar radiación (3) láser en forma de impulsos por láser con una duración de impulso predeterminada; y  
 10 - un sistema óptico que está construido y dispuesto para enfocar los impulsos por láser a puntos focales respectivos,  
 en el que el manipulador (8, 9) óptico está construido y dispuesto para colocar los puntos (10) focales respectivos en posiciones objetivo respectivas,  
 15 en el que una potencia de la radiación (3) láser generada y una dimensión del punto (10) focal son de tal manera que, en los puntos focales respectivos, la radiación láser tiene una densidad de potencia que está por encima de un valor umbral característico para tejido capilar, valor umbral por encima del cual, para la duración de impulso predeterminada, se produce un fenómeno de descomposición óptica inducida por láser en el tejido capilar,  
 20 caracterizado porque el sistema de radiación está construido y dispuesto para proporcionar al menos dos de los impulsos por láser que se superponen en el tiempo en puntos (10) focales respectivos separados espacialmente.  
 25
2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que la fuente (2) láser está construida y dispuesta para proporcionar una pluralidad de haces (3) láser que se superponen en el tiempo.
- 30 3. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que el sistema óptico comprende un elemento (6) multiplicador de haz que está construido y dispuesto para multiplicar un haz (3) incidente de radiación láser en una pluralidad de haces láser de salida simultánea.
- 35 4. Dispositivo según la reivindicación 3, en el que el sistema óptico comprende una rejilla (6) de difracción.
5. Dispositivo según la reivindicación 3, en el que el elemento (6) multiplicador de haz es móvil, preferiblemente giratorio o pivotante.
- 40 6. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que el número de puntos (10) focales que se superponen en el tiempo está entre 2 y 20.
7. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que una distancia entre puntos (10) focales adyacentes que se superponen en el tiempo es como máximo igual a una distancia útil mecánica eficaz del fenómeno de descomposición óptica inducida por láser en los puntos focales.  
 45
8. Dispositivo según la reivindicación 7, en el que dicha distancia se selecciona para ser como máximo igual al diámetro de un pelo (20) que va a cortarse, dividido por el número de puntos focales que se superponen en el tiempo.
- 50 9. Dispositivo según la reivindicación 7, en el que la energía en cada impulso por láser es tal que dicha distancia está entre 5 y 50  $\mu\text{m}$ , preferiblemente entre 10 y 25  $\mu\text{m}$ .
10. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que los puntos (10) focales que se superponen en el tiempo se proporcionan en un patrón 3D, preferiblemente un tetraedro, que se extiende a través del pelo (20) que va a cortarse.  
 55
11. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que los puntos (10) focales que se superponen en el tiempo se proporcionan en un plano que se extiende a través de un pelo (20) que va a cortarse, preferiblemente de manera sustancialmente perpendicular a la dirección del tallo del pelo.  
 60
12. Dispositivo según la reivindicación 11, en el que los puntos (10) focales que se superponen en el tiempo se proporcionan en un patrón triangular, preferiblemente un patrón triangular equilátero.
- 65 13. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que los puntos (10) focales que se superponen en el tiempo se proporcionan sobre una línea que se extiende a través de un pelo (20) que va a cortarse, preferiblemente de manera sustancialmente perpendicular a la dirección del tallo del pelo.

- 5 14. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que se selecciona una densidad de potencia pico en un punto (10) focal durante un impulso por láser para ser al menos igual a un valor umbral característico  $D_h$  para tejido capilar, por encima del cual, para la duración de impulso predeterminada, se produce un fenómeno de descomposición óptica inducida por láser en el tejido capilar, pero por debajo de un valor umbral característico  $D_s$  para el tejido de la piel, por encima del cual, para la duración de impulso predeterminada, se produce un fenómeno de descomposición óptica inducida por láser en el tejido de la piel.
- 10 15. Dispositivo según la reivindicación 14, en el que dicha densidad de potencia pico está entre el 60% y el 95% de  $D_s$ , preferiblemente entre el 70 y el 85% de  $D_s$ .
16. Dispositivo según la reivindicación 14, en el que dicha densidad de potencia pico está entre  $4 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$  y  $7,5 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$ , preferiblemente entre  $5,5 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$  y  $7 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$ .
- 15 17. Dispositivo según la reivindicación 14, en el que un perfil temporal de la densidad de potencia del impulso es tal que la densidad de potencia pico, y preferiblemente el valor umbral  $D_h$ , se alcanza después de un tiempo después del inicio del impulso que es menor que la mitad de la duración de impulso, preferiblemente después de un lapso de tiempo que es menor que el 25% de la duración de impulso.
- 20 18. Dispositivo según la reivindicación 14, en el que un perfil temporal de la densidad de potencia es tal que más del 50%, preferiblemente más del 70%, de la energía en el impulso se suministra después de alcanzar la densidad de potencia pico.

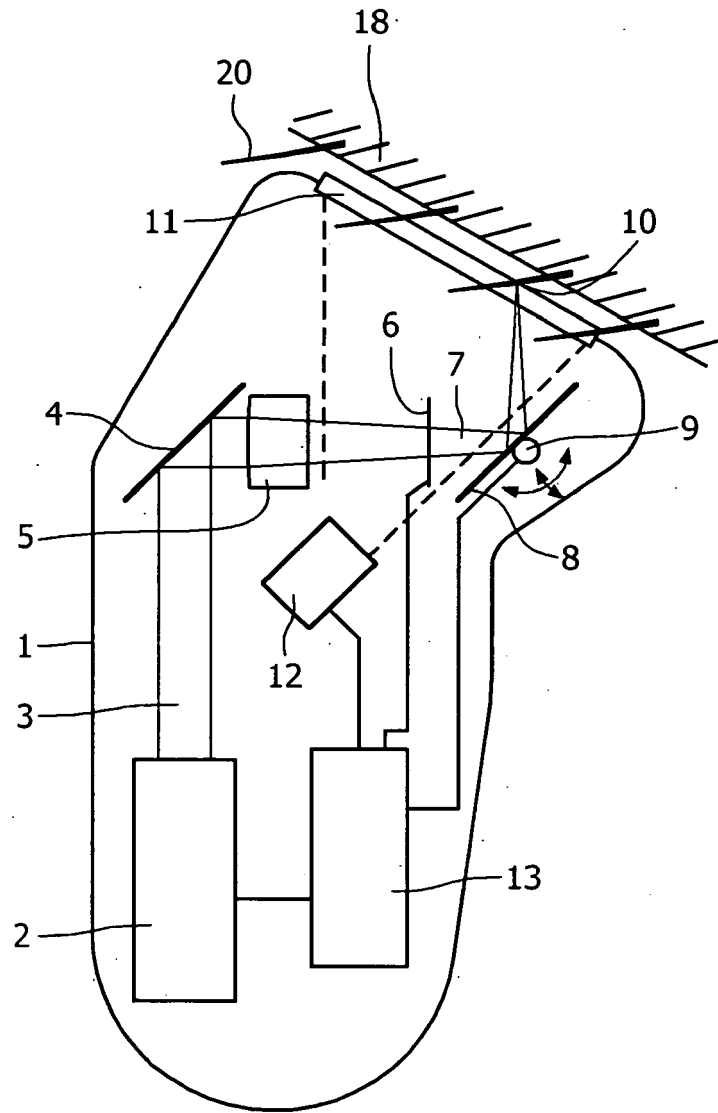


FIG. 1

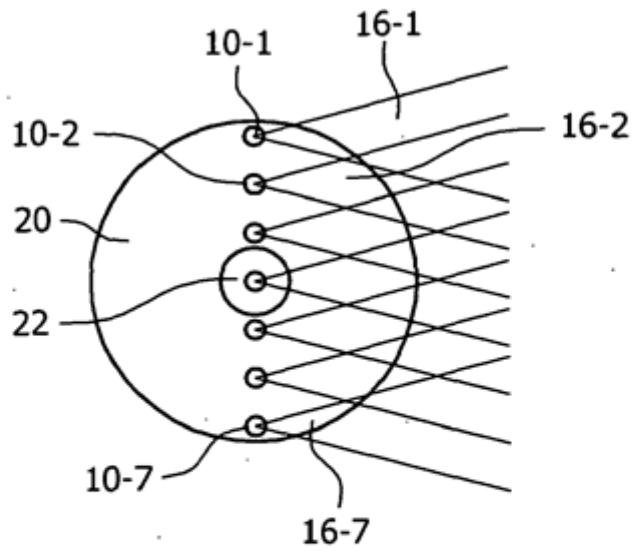


FIG. 2

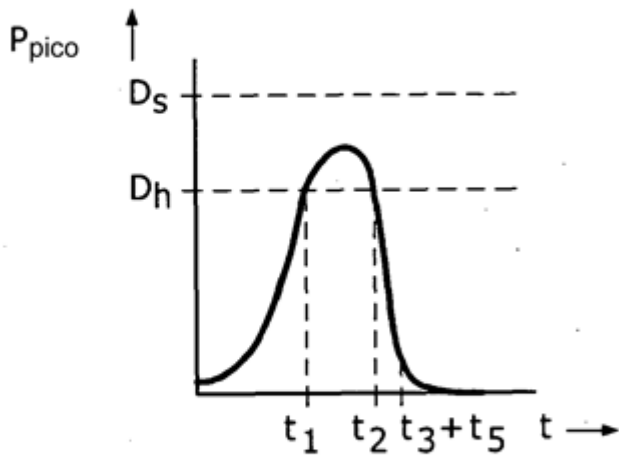


FIG. 3a

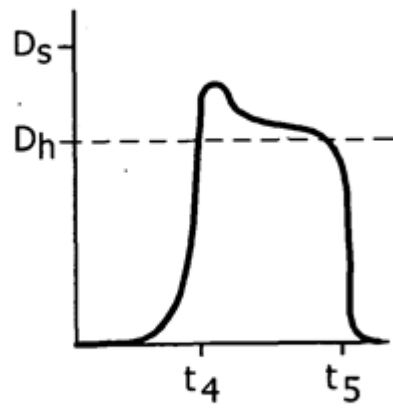


FIG. 3b

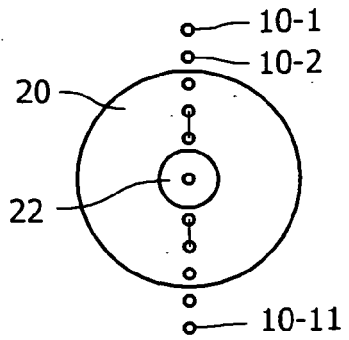


FIG. 4

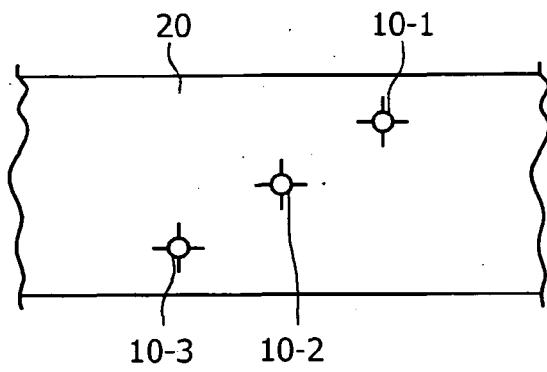


FIG. 5a

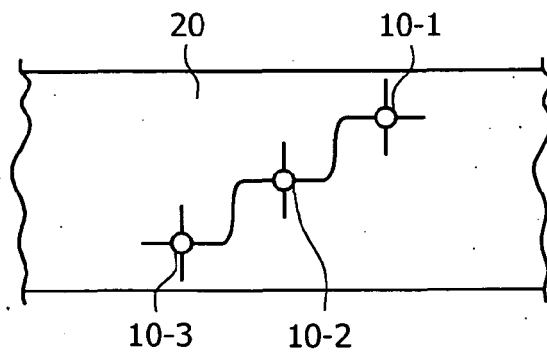


FIG. 5b

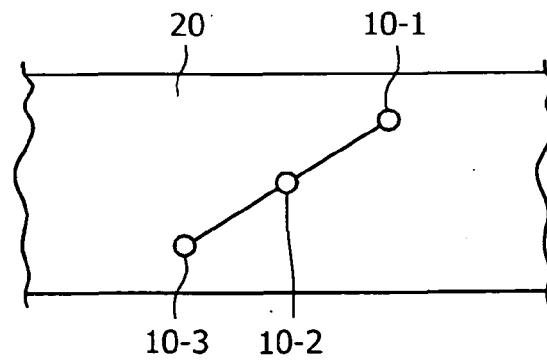


FIG. 5c