

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 806**

51 Int. Cl.:

**H01S 5/028** (2006.01)

**H01S 5/02** (2006.01)

**H01S 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2010 E 10173278 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019 EP 2290766**

54 Título: **Láser de diodos de alta potencia y procedimiento para la fabricación de un láser de diodos de alta potencia**

30 Prioridad:

**28.08.2009 DE 102009028985**

**17.12.2009 DE 102009054912**

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

**03.12.2019**

73 Titular/es:

**DILAS DIODENLASER GMBH (100.0%)**

**Galileo-Galilei-Strasse 10**

**55129 Mainz, DE**

72 Inventor/es:

**KELEMEN, MARC;**

**MORITZ, RUDOLF;**

**GILLY, JÜRGEN y**

**FRIEDMANN, PATRICK**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 733 806 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

Láser de diodos de alta potencia y procedimiento para la fabricación de un láser de diodos de alta potencia

5 La invención se refiere a un láser de diodos de alta potencia y un procedimiento para la fabricación de un láser de diodos de alta potencia.

10 Los láseres de diodos de alta potencia, es decir, láseres de diodos con elevadas densidades de potencia a base de capas de semiconductor del grupo III-V, como (Al,In)GaAs, (Al,In)InP y (Al,In)GaSb encuentran diversas aplicaciones en los más diferentes campos, como por ejemplo el bombeo de láseres de estado sólido, de fibra y de disco, el mecanizado directo de materiales mediante módulos de láser de diodos y la terapia y diagnóstico médicos. Como láseres de diodos de alta potencia se definen a continuación los láseres de diodos con una densidad de potencia óptica de más de 40 mW por micrómetro de anchura de faceta. Como facetas se designan a continuación las dos superficies de salida de luz puestas de un láser de diodos.

15 En el caso de calidad elevada actual de las capas de semiconductor del grupo III-V están limitadas tanto la vida útil como también la potencia de partida óptica posible máxima de los láseres de diodos de alta potencia ante todo por la cualidad de sus facetas. El producto de partida en la fabricación de láseres de diodos de alta potencia son obleas que contienen una pluralidad de diodos láser. Para la separación de diodos láser o matrices de diodos láser o barras láser de diodos se fracturan las obleas, donde sobre los puntos de ruptura o superficies de clivaje se aplican respectivamente sistemas de capas, que forman las facetas del láser de diodos de alta potencia. En particular durante la fractura de las obleas en aire se origina una mezcla de distintos óxidos de semiconductor en la superficie de clivaje. Esa capa de óxido es la causa de una elevada fracción de la recombinación no radiante debido a la elevada densidad de estados de superficie límite, de modo que durante el funcionamiento del láser de diodos de alta potencia en el área de la faceta tiene lugar un calentamiento local. A este calentamiento se vincula una reducción de la banda prohibida. Esta conduce, por su lado, a un calentamiento adicional en el área de la faceta y por consiguiente a una reducción creciente en muy poco tiempo de la banda prohibida, de modo que el láser de diodos de alta potencia se calienta cada vez más intensamente en el área de la faceta y por consiguiente también la faceta misma. De este modo, la faceta se destruye esencialmente de forma térmica en un tiempo muy corto. Este procedimiento limita la potencia de partida óptica posible máxima de los láseres de diodos de alta potencia.

20 Además, los óxidos son inestables químicamente respecto a los materiales semiconductores, de modo que los efectos de rejilla que provocan el calentamiento de la faceta se propagan en el interior del semiconductor. Los efectos mencionados conducen a dos limitaciones esenciales para la vida útil de los componentes semiconductores. Por un lado, se obtiene una degradación continua que se caracteriza por un aumento continuo de la corriente de trabajo, que es necesaria para una potencia de partida constante. Por otro lado, debido a la degradación del material semiconductor baja el umbral de la corriente de trabajo, por encima del que ocurre una destrucción repentina de las superficies especulares y por consiguiente un fallo espontáneo del láser de diodos de alta potencia (denominado COD, Catastrophic Optical Damage), de modo que la potencia de partida óptica posible máxima en el caso de un funcionamiento por debajo del umbral COD del láser de diodos de alta potencia disminuye en el curso de la duración de funcionamiento.

45 Para reducir la medida de la degradación del material semiconductor y de la reducción provocada por ello del umbral COD, durante la fabricación de los láseres de diodos de alta potencia se conoce generar superficies de clivaje que no contienen oxígeno y están libres de sustancias que puedan reaccionar con los materiales semiconductores en el área de las superficies de clivaje. Esto ocurre porque la oblea se fractura en atmósfera libre de oxígeno o porque tras la fractura en aire se realiza un tratamiento de la superficie de clivaje, donde esta se purifica, es decir, se retira o liga el oxígeno contenido en la superficie de clivaje, de modo que es menos reactiva químicamente.

50 A continuación, además, hay que ocuparse de dejar libre la superficie de clivaje libre de oxígeno o que contiene oxígeno sólo en una forma (oxidica) ligada de oxígeno que reacciona de forma incontrolada. Para ello se debe encapsular la superficie de clivaje purificada mediante una capa protectora, designada a continuación como capa de pasivación. A continuación, para el ajuste de la reflectividad deseada del láser de diodos de alta potencia se aplican otras capas funcionales ópticas, que determinan la reflectividad.

55 En el documento US 5,063,173, el US 5,144,634 y el US 5,171,717 se describe la prevención del contacto con el aire como método efectivo para la generación de superficies de clivaje libres de óxido. Esto ocurre mediante separación de una oblea en matrices de láser de diodos en vacío ultra-alto con una presión que es menor de  $10^{-8}$  mbar. A continuación se aplica in situ una capa de pasivación delgada de aproximadamente 20 nm, que opcionalmente se compone de los materiales Si, Ge o Sb, mediante metalización al vacío por haz de electrones.

60 En el documento US 4,563,368 se describe una capa de pasivación para un láser de diodos de alta potencia escindido en el aire, que se compone de materiales reactivos como Al, Si, Ta, V, Sb, Mn, Cr o Ti, aplicados mediante pulverización por haz de iones bajo argón a  $8 \times 10^{-5}$  mbar. A este respecto se puede aplicar Si en entorno de hidrógeno o como compuesto de silano. Luego en las mismas cámaras de prueba se pueden pulverizar una o varias capas para el ajuste de la reflectividad, que se componen de los materiales Si, SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

5 En el documento US 6,618,409 B1 se describe un concepto de pasivación para matrices de diodos láser fracturadas en el aire, que se basa en un procedimiento multietapa en una instalación de vacío con en conjunto tres cámaras de procedimiento separadas. Se caracteriza por que las facetas se purifican en vacío ultra-alto de  $3 \times 10^{-10}$  a  $1 \times 10^{-7}$  mbar usando un cañón de iones de  $H_2/Ar$  o  $H_2/Xe$  o un plasma de ECR de hidrógeno (*electron cyclotron resonance*) con mezcla pura de  $H_2$  o  $Ar/H_2$  o bien  $Xe/H_2$  como fuente de gas con una energía cinética entre 1 eV y 24 eV. La temperatura de procedimiento durante la retirada (reducción) de la capa de óxido está por debajo de 200 °C. A continuación el silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H) se pulveriza como capa de pasivación con un espesor de aproximadamente 20 nm, igualmente con una temperatura de procedimiento por debajo de 200 °C. Tras finalizar la pasivación se aplican una o varias capas funcionales para el ajuste de la reflectividad mediante pulverización por haz de iones en otras dos cámaras de procedimiento, donde como material para las capas muy reflectantes se usa  $SiO_2$  y  $Nb_2O_5$  y como material para las capas poco reflectantes  $Nb_2O_5$ .

15 Por el documento DE 102 21 952 A1 se conoce un concepto de pasivación para una matriz de diodos láser quebrada en aire, que se basa en un procedimiento multietapa en dos instalaciones de vacío separadas. Las matrices de diodos láser se calientan a una temperatura entre 350 °C y 420 °C y se purifican en vacío ultra-alto de  $1 \times 10^{-8}$  a  $1 \times 10^{-7}$  mbar usando hidrógeno atómico o molecular excitado como medio reactivo con una energía cinética menor de 2eV. A continuación se metaliza al vacío una capa protectora de uno de los materiales ZnSe,  $Gd_2O_3$ , Si o BeTe como pasivación. Tras finalizar la pasivación se aplican una o varias capas funcionales para el ajuste de la reflectividad de uno o varios de los materiales  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $Ta_2O_5$  o Si mediante pulverización por haz de iones en un segundo aparato de vacío.

25 En el documento US 4,337,443 A se describe un diodo láser con potencia óptica de 5-10 mW por micrómetro de anchura de faceta, que contiene un material aplicado mediante instalaciones de pulverización de la composición  $(Si_{1-x}(Ge_sCi_t)_{1-x}H_x)$  como capa de pasivación. Los espesores de capa se deben seleccionar según  $m(\lambda/4)$  ( $m=1,3,5\dots$ ), donde  $\lambda$  representa la longitud de onda en el material aplicado. Esta capa de pasivación se debe proteger de nuevo frente al entorno mediante una capa de aislamiento transparente de  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , MgO, ZnO,  $TiO_2$  o  $Si_3N_4$  de espesor  $\lambda/2$ .

30 En el documento JP 04-032,285 A se menciona igualmente una capa de pasivación aplicada mediante instalaciones de pulverización de SiC de espesor de capa  $\lambda/2$ .

35 En el documento US 5,780,120 se realiza un tratamiento de faceta en el vacío ultra-alto mediante un procedimiento PLD (*pulsed laser deposition*). Las barras láser se han quebrado en este caso bajo exclusión de oxígeno, por ejemplo, en una atmósfera de nitrógeno. La purificación de las facetas se realiza a este respecto mediante radiación láser pulsada de energía 70-120 mJ/cm<sup>2</sup>. Tras la purificación se realiza otra purificación posterior bajo Br o Cl. Luego mediante remoción láser se aplica una capa de pasivación de Si o GaN de un espesor hasta 2 nm. Finalmente, mediante la PLD con energías de 1-5 J/cm<sup>2</sup> de SiC de estado sólido se realiza la deposición de una capa de SiC.

40 En el documento US 2003/0048823 A1 se describe un sistema de capas aplicado mediante instalaciones de pulverización sobre las facetas de un láser de diodos, que se compone de una capa de pasivación y una capa que determina la reflexión. Mientras que la capa de pasivación está hecha de Si u opcionalmente SiC del espesor de 1 nm, la capa que determina la reflexión se debe componer de una capa que contiene nitruro, por ejemplo,  $Si_3N_4$ .

45 El documento US 6396864 B1 da a conocer un láser de diodos con facetas opuestas, que están revestidas respectivamente con una capa de SiC y otra capa. El sistema de capas asume la función tanto de una capa de pasivación, como también una capa reflectante.

50 Todos los procedimientos conducen a una mejora de la estabilidad a largo plazo y la potencia de partida posible máxima de láseres de diodos en comparación a láseres de diodos, que se han elaborado sin la aplicación de un sistema de capas (con o sin purificación anterior).

55 No obstante, los procedimientos descritos son muy costosos, dado que las facetas de los láseres de diodos de alta potencia individuales o matrices de láser de diodos se deben quebrar bajo exclusión de oxígeno, o se purifican tras un quebrado en aire y a continuación se deben proveer de una capa de pasivación, sobre la que a continuación se aplican capas funcionales muy reflectantes o poco reflectantes de materiales diferentes de la capa de pasivación. En los procedimientos conocidos para las capas funcionales muy reflectantes se usan siempre compuestos que contienen oxígeno, estables químicamente como  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  o  $TiO_2$ . Las capas funcionales poco reflectantes contienen la mayoría de las veces compuestos que contienen nitrógeno como  $Si_3N_4$ . En la práctica se debe realizar por lo tanto la purificación de las superficies de semiconductor quebradas, la fabricación de capas de pasivación y al menos de las capas funcionales muy reflectante en respectivas cámaras de vacío separadas con coste técnico de fabricación, correspondientemente elevados, a fin de evitar una contaminación incontrolada de las superficies límite de semiconductor y de las capas de pasivación con oxígeno.

65 El vacío ultra-alto necesario en la mayoría de los procedimientos durante los procedimientos conduce a otros requerimientos en las instalaciones usadas.

La tecnología de pulverización usada con frecuencia en los procedimientos conocidos para la deposición de capas de fuentes de sólido no se puede usar en los láseres de diodos de alta potencia descritos en esta invención debido al deterioro demasiado elevado de las superficies límite de semiconductor y la disminución temporal intensa resultante de ello del umbral de COD.

La invención tiene ahora el objetivo de especificar un láser de diodos de alta potencia con umbral de COD elevado con vida útil al mismo tiempo elevada. Además, la invención tiene el objetivo de especificar un procedimiento para su fabricación.

Con vistas al láser de diodos de alta potencia se consigue el objetivo mencionado según la invención con las características de la reivindicación 1. Según estas características, todas las capas de los sistemas de capas que forman las facetas están compuestas respectivamente de silicio y carbono y se basan por consiguiente en solo un sistema de materiales que está libre de oxígeno. A este respecto, los sistemas de capas amorfas satisfacen tantos los requerimientos de una capa de pasivación tras la purificación de las superficies de clivaje de semiconductor, como también de las capas funcionales que determinan la reflexión, es decir, estos sistemas de capas sirven como revestimiento espejado y antirreflejante de las facetas láser. Un láser de diodos de alta potencia semejante presenta un umbral de COD elevado con vida útil al mismo tiempo elevada. La causa de ello es la reflectividad ajustable de forma sencilla mediante la relación de cantidad de silicio y carbono y también su variación dentro de un sistema de capas. Además, la conductividad térmica elevada de un sistema de capas compuesto de silicio y carbono, que es más elevada que la conductividad térmica de todas las capas de pasivación y funcionales usadas en el estado de la técnica, ofrece ventajas respecto a la dispersión del calor y por consiguiente el enfriamiento de las facetas. La conducción térmica del SiC es por ejemplo un factor 10 más elevada que la conductividad térmica de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

El término "compuesto" se debe entender a este respecto de modo que pueden estar contenidos otros componentes inevitables técnicamente en el procedimiento, por ejemplo, hidrógeno, en pequeñas concentraciones.

Todas las capas de los sistemas de capas que forman las facetas se basan sólo en un sistema de materiales libre de oxígeno, que posibilita su fabricación en ausencia de oxígeno en sólo una cámara de procedimiento. Así para la realización de todos los procedimientos de fabricación se pueden usar económicas instalaciones de PECVD (*plasma enhanced chemical vapour deposition*) de la tecnología de Si, donde sólo se necesita una instalación con sólo una cámara de procedimiento para la limpieza y revestimiento, y para la realización del procedimiento en la cámara de procedimiento se requiere como máximo un alto vacío, no obstante, no un vacío ultra-alto. De este modo se reduce significativamente el coste técnico de fabricación y en aparatos. Además, las instalaciones de pulverización no utilizables para láseres de diodos de alta potencia debido al deterioro demasiado grande del semiconductor se pueden sustituir por un procedimiento de deposición claramente menos perjudicial.

Por el contrario, en todos los procedimientos usados actualmente para el revestimiento de láseres de diodos de alta potencia se deben usar instalaciones con al menos dos cámaras de procedimiento integradas y un dispositivo de manipulación con el que es posible cambiar el sustrato a mecanizar de una a la otra cámara de procedimiento o al menos dos instalaciones separadas con respectivamente una cámara de procedimiento. Correspondientemente en el procedimiento según la invención se reducen los costes de instalaciones en comparación a los procedimientos usados en el estado de la técnica en aprox. el 50 %.

Con vistas al procedimiento, el objetivo mencionado se consigue según la invención con las características de la reivindicación 2, cuyas características se corresponden según el sentido con las características de la reivindicación 1.

Otras configuraciones ventajosas del procedimiento están especificadas en las reivindicaciones subordinadas a la reivindicación 2.

Para la explicación adicional de la invención se remite a los ejemplos de realización reproducidos en el dibujo. Muestran:

Fig. 1 la estructura de un láser de diodos de alta potencia con un sistema de capas en ambos lados, que se compone respectivamente de una capa de pasivación y capas funcionales que determinan la reflexión según la presente invención en una representación simplificada,

Fig. 2 un diagrama donde está trazada la potencia de salida respecto a la corriente de trabajo bajo distintas condiciones de funcionamiento para láseres de diodos de alta potencia fabricados diferentemente.

Fig. 3 un diagrama donde está trazada igualmente la potencia de salida respecto a la corriente de trabajo bajo condiciones de funcionamiento pulsadas para láseres de diodos de alta potencia fabricados diferentemente.

Fig. 4, 5 respectivamente un diagrama donde está trazada la potencia de salida óptica con corriente de trabajo constante respecto a la duración de funcionamiento para un láser de diodos de alta potencia, cuyas facetas se han

fabricado según el estado de la técnica, o para un láser de diodos de alta potencia que se ha fabricado según la presente invención.

5 En el ejemplo de realización según la fig. 1 está representado esquemáticamente un láser de diodos de alta potencia fabricado a base de sustratos de GaAs. Asimismo los láseres de diodos se pueden fabricar a base de otros materiales semiconductores del grupo III-V, por ejemplo, a base de sustratos de InP o GaSb.

10 En el caso del láser de diodos de alta potencia fabricado a base de un sustrato de GaAs se depositan sobre un sustrato de GaAs tipo n 2 a continuación una capa de revestimiento dotada tipo n 4 (p. ej., AlGaAs, InGaAsP, AlGaAsSb), una capa de guía de ondas lateral tipo n 6 (p. ej., AlGaAs, InGaAsP, AlGaAsSb), una estructura de pozo cuántico 8 (p. ej., InGaAs, InGaAsP, GaInSb, GaInAsSb), donde tienen lugar los procedimientos de recombinación que generan la luz láser, una estructura de guía de ondas lateral tipo p 10, una capa envolvente dotada tipo p 12 y una capa de contacto dotada tipo p 14 (p. ej., GaAs, GaSb, InP, InGaAs).

15 Mediante corrosión de la capa de contacto 14 se definen las bandas de contacto para la inyección de corriente, cuya anchura está, por ejemplo, entre 90 pm y 100 μm. Debido a la anchura de las bandas de contacto se define de este modo la extensión de la onda óptica en la dirección lateral, es decir, perpendicularmente al plano del dibujo. Una capa de aislamiento 16, así como series de metalizaciones laterales tipo p y lateral tipo n no representadas en la figura para el contacto eléctrico, completan la estructura de capas global.

20 Las obleas estructuradas y provistas de las denominadas capas de semiconductor se dividen mediante corte y escisión en aire en barras de láser de diodos individuales, que se componen de nuevo de varios láseres de diodos de alta potencia.

25 Los laterales frontales opuestos entre sí, orientados perpendicularmente a la estructura de capas forman las así denominadas superficies de clivaje 18, 20. Dado que sobre las superficies de clivaje 18, 20 generadas al aire se generan inmediatamente una capa de óxidos de semiconductor e impurezas como agua y adsorbatos de gas, que limitan la potencia de partida posible máxima y la vida útil del láser de diodos de alta potencia, según la presente invención está prevista una limpieza de las superficies de clivaje 18, 20 y su encapsulado subsiguiente mediante un sistema de capas que se compone de silicio y carbono.

30 Para ello las barras de láser de diodos se disponen en un soporte, de modo que son accesibles las dos superficies de clivaje 18, 20. El soporte se introduce en una cámara de procedimiento evacuada de un sistema PECVD o CVD térmica. Mediante un procedimiento por plasma químico que tiene lugar en ausencia de oxígeno se purifican y reducen a continuación las superficies de clivaje 18, 20 afectadas por óxidos, donde la energía de los iones en el plasma es menor de 20 eV. Como gases de procedimiento para la purificación se usan gases de formación, como por ejemplo, gas de argón y/o hidrógeno.

35 La eficiencia de la purificación está condicionada a este respecto por una selección óptima de los parámetros de procedimiento de temperatura y presión. Una temperatura de purificación debe ser tan alta como sea posible. En el ejemplo de realización, una temperatura de purificación típica es de aproximadamente 400 °C y está limitada a temperaturas más elevadas por las temperaturas de aleación o los deterioros de las series de metalizaciones de tipo p y n. La presión base en la cámara de procedimiento no se debe situar en el rango UHV, sino que se puede situar en el rango de  $1 \times 10^{-1}$  a  $1 \times 10^{-2}$  mbar.

40 A continuación se protegen las superficies de clivaje purificadas 18, 20 in situ, es decir, en la misma cámara de procedimiento frente a nueva oxidación o ensuciamiento. Esto ocurre mediante aplicación de una capa de pasivación 22, que es inerte con respecto a los materiales semiconductores adyacentes y liga de forma estable químicamente preferentemente las capas de óxido todavía presentes eventualmente. La capa de pasivación 22 sirve además para impedir un nuevo contacto de las capas de semiconductor con el oxígeno y otras impurezas que pueden penetrar desde fuera por difusión.

45 La capa de pasivación 22 actúa por un lado como barrera de difusión, pero por otro lado todavía es permeable para la luz láser generada dentro de la estructura de pozo cuántico 8. La capa de pasivación 22 es eléctricamente aislante o al menos de gran resistencia, de modo que durante el funcionamiento solo fluyen fracciones despreciables de la corriente a través de las superficies de clivaje 18, 20.

50 La capa de pasivación 22 se compone de una capa amorfa que se compone de silicio y carbono. Esta se deposita mediante deposición química de vapor (CVD), preferentemente CVD térmica, en particular mediante deposición química de vapor asistida por plasma (PECVD). Con tales procedimientos de revestimiento se evita ampliamente un deterioro de las capas límite de semiconductor escindidas durante la aplicación de los sistemas de capas.

55 Para la deposición como gases de procedimiento se usan preferentemente metano (CH<sub>4</sub>) y silano (SiH<sub>4</sub>). A través de los flujos de gases y gases de procedimiento y también mediante otros parámetros de procedimiento, como presión, temperatura y duración de deposición se pueden ajustar la composición de la capa de pasivación 22 y por consiguiente sus propiedades.

En el ejemplo de realización, con presiones base idénticas para la fase de purificación se deposita una capa amorfa de 5 nm a 50 nm de espesor de silicio y carbono, cuya fracción de silicio es mayor que la fracción de carbono. La duración de deposición se mueve preferentemente en el mismo orden de magnitud que la duración de purificación y se sitúa en el rango entre 10 segundos y varios minutos. La cámara de procedimiento se mantiene preferentemente a una temperatura entre 200 °C y 300 °C para la deposición.

Luego sobre las dos capas de pasivación 22 se aplican capas funcionales 24, con las que se ajusta la reflectividad de la superficie de clivaje 18, 20 correspondiente. Estas capas funcionales 24 muy o poco reflectantes según la reflectividad deseada se componen igualmente de silicio y carbono y se pueden aplicar, dado que se basan en el mismo sistema de materiales que las capas de pasivación 22, en la misma cámara de procedimiento.

Para el revestimiento antirreflejante sobre una de las superficies de clivaje 19, 20 provistas respectivamente de una capa de pasivación 22 se deposita, en el ejemplo de realización representado, sobre la superficie de clivaje 20, una única capa funcional 24 amorfa, de baja refracción y hecha de silicio y carbono. En el ejemplo de realización de esta invención se ha ajustado como índice de refracción 1,99. Este, frente a una capa funcional de Si/N usada con frecuencia en el estado de la técnica, construida de silicio y nitrógeno tiene además la ventaja de ser más estable química y térmicamente. El espesor de capa de esta capa funcional 24 es un cuarto de la longitud de onda objetivo  $\lambda$  de la luz láser emitida  $L$  dividido por el índice de refracción (en el ejemplo de aplicación 1,99).

El sistema de capas muy reflectante, aplicado en la superficie de clivaje 18 opuesta, provista de la capa de pasivación 22 con >90 % de reflectividad, se compone de un sistema de capas amorfas, construido de varias capas funcionales 24 hechas respectivamente de silicio y carbono, donde el grado de reflexión elevado se ajusta mediante una diferencia lo mayor posible en el índice de refracción de capas funcionales 24 adyacentes. A través de los espesores de capa de las capas funcionales 24 individuales se ajusta el rango de longitudes de onda a reflejar entre 600 nm y 3000 nm.

Los índices de refracción de las capas funcionales y de pasivación se ajustan a través de una variación del contenido de carbono durante la deposición del sistema de capas. Con un contenido de carbono de 5 % atómico el índice de refracción es 3,6. Con un contenido de carbono de 95 % atómico es aproximadamente 1,7. Básicamente los índices de refracción de las capas funcionales 24 se pueden situar entre 1,4 y 3,8.

Para un sistema de capas muy reflectante se prefieren por consiguiente capas funcionales alternantes 24 con los valores límite de índice de refracción 1,4 y 3,8. Cada una de estas capas funcionales presenta preferentemente un espesor de un cuarto de la longitud de onda a reflejar. Los espesores de capa son por consiguiente entre 125 nm y 750 nm.

Los sistemas de capas 26 o 28 que se componen de capa de pasivación 22 y capas funcionales 24 en las superficies de clivaje 18, 28 forman las facetas del láser de diodos de alta potencia terminado.

Ejemplo de realización 1 (producto previo)

Como producto previo para la fabricación de un láser de diodos de alta potencia según la invención se han fabricado láseres de diodos de alta potencia de banda ancha, cuyas superficies de clivaje se han purificado según se ha explicado anteriormente y ahora se han provisto sólo con una capa de pasivación 22 hecha de silicio y carbono.

Ejemplo de comparación 1 (producto de comparación)

Como ejemplo de comparación 1, con el producto previo se han fabricado láseres de diodos de alta potencia idénticos según el ejemplo de realización 1, cuyas superficies de clivaje se han purificado según se ha explicado anteriormente y se han provisto de una capa de pasivación 22 hecha de silicio y carbono, no obstante, cuyas capas funcionales ópticas están hechas, divergiendo del procedimiento según la presente invención, en la faceta de desacoplamiento, de silicio y nitrógeno y en la faceta de espejo de una parejita doble de silicio y dióxido de silicio y que se han aplicado respectivamente en una instalación de pulverización separada.

Ejemplo de realización 2 (producto final)

Un producto previo según el ejemplo de realización 1 se ha terminado de procesar, en tanto que se han aplicado sobre las capas de pasivación 22 capas funcionales 24 que están hechas de silicio y carbono según la invención.

Ejemplo de comparación 2

En un ejemplo de comparación se han fabricado láseres de diodos de alta potencia con un revestimiento de facetas mediante una instalación de pulverización según el estado de la técnica. La purificación de las capas de clivaje se realizó mediante un Ar-Flash de potencia 600 W. Las capas funcionales ópticas están hechas de silicio y nitrógeno en la faceta de desacoplamiento y una parejita doble de silicio y dióxido de silicio en la faceta de espejo, donde en

las superficies de clivaje limpiadas no se ha aplicado ninguna capa de pasivación.

Tanto en los ejemplos de realización 1 y 2, como también en los ejemplos de comparación 1 y 2 tuvieron los láseres de diodos de alta potencia una longitud de resonador de 4000  $\mu\text{m}$  y una anchura de banda de 90  $\mu\text{m}$ .

5 Los láseres de diodos de alta potencia de los cuatro procedimientos de fabricación se han sometido a un test de sollicitación. A este respecto, con una temperatura de 20 °C con una longitud de pulso de 50 ps y una tasa de repetición de 50 Hz se ha subido la corriente hasta 40 A.

10 En el diagrama según la fig. 2, en la curva a está trazada la potencia de partida P respecto a la corriente de trabajo I para un láser de diodos de alta potencia operado de forma pulsada. Las curvas b y c están generadas con un láser de diodos de alta potencia no procesado terminado, fabricado según el ejemplo de realización 1 bajo las condiciones de funcionamiento continuas (curva b) o pulsadas (curva c). En el diagrama se puede reconocer que el producto  
15 previo según el ejemplo de realización 1 en el funcionamiento pulsado muestra una potencia máxima cuatro veces más elevada que un láser de diodos de alta potencia provisto de un sistema de capas. Además, el mismo láser de diodos de alta potencia fabricado según el ejemplo de realización 1 (producto previo) con 40 A no muestra un fallo de COD de la faceta al contrario al láser de diodos as-cleaved. En el funcionamiento continuo tampoco se pudo observar hasta 20 A ninguna fallo de COD.

20 En el diagrama de la fig. 3, en las curvas a, b y c está representada la potencia de partida P respecto a la corriente de trabajo I para los ejemplos de comparación 2 (curva a) o 1 (curva b) o el ejemplo de realización 2 procesado terminado (curva c) respectivamente bajo condiciones de funcionamiento pulsadas. Mientras que en el diodo láser de alta potencia fabricado según el ejemplo de comparación 2 se ha medido una potencia máxima de 16 W con una corriente de trabajo de 15,4 A, en los láseres de diodos de alta potencia fabricados según el ejemplo de comparación  
25 1 se miden una potencia máxima de 24 W y en los láseres de diodos de alta potencia fabricados según el ejemplo de realización una potencia máxima de 26 W a 27 W con una corriente de trabajo de 35 a 37 A.

De ello se desprende que la aplicación de sistemas de capas hechos de silicio y carbono sobre las superficies de clivaje purificadas anteriormente posibilita independientemente de las capas funcionales ópticas aplicadas luego densidades de potencia óptica claramente más elevadas en las facetas que en el caso de facetas que se han  
30 fabricado con procedimientos convencionales. Este sistema de capas hecho de silicio y carbono también es estable respecto a capas aplicadas posteriormente mediante instalaciones de pulverización.

La estanqueidad y la estabilidad química de larga duración de los sistemas de capas sobre las superficies de facetas son responsables de la estabilidad de larga duración de los diodos láser.  
35

En otro test funcional, los láseres de diodos de alta potencia de banda ancha, que se han fabricado según el ejemplo de realización 2 y según el ejemplo de comparación 2, se han sometido a un test de envejecimiento. Durante el test, que se ha realizado en 2500 horas con una temperatura de 30 °C, se han estabilizado los diodos con una corriente de trabajo fija. Tras una cierta duración de funcionamiento se ha elevado la corriente de trabajo en un valor fijo y se ha estabilizado de nuevo.  
40

En los diagramas de las fig. 4 y 5 está trazada la potencia de partida óptica P correspondiente respecto a la duración de funcionamiento t. La fig. 4 muestra el desarrollo temporal de la potencia de partida P para un diodo láser de alta potencia fabricado según el ejemplo de comparación 2. La fig. 5 muestra el desarrollo temporal de la potencia de partida P para un diodo láser de alta potencia fabricado según el ejemplo de realización 2. Mientras que el láser de diodos de alta potencia fabricado según el ejemplo de comparación 2 ya falla tras pocos cientos de horas, el láser de diodos de alta potencia fabricado según el ejemplo de realización 2 no mostró una degradación visible aunque se ha elevado la potencia de partida óptica de forma escalonada. Esto muestra la buena estabilidad a largo plazo de los  
45 sistemas de capas hechos de silicio y carbono.  
50

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Láser de diodos de alta potencia con facetas opuestas entre sí, que están construidas respectivamente de un sistema de capas (26, 28) que comprende varias capas amorfas (22, 24) compuestas de silicio y carbono, que contiene tanto una capa de pasivación (22) como también varias capas funcionales (24) que determinan la reflexión, donde los índices de refracción de la capa de pasivación (22) y de las capas funcionales (24) están ajustados a través de un contenido de carbono variable.
- 10 2. Procedimiento para la fabricación de un láser de diodos de alta potencia según la reivindicación 1, donde en sus superficies de clivaje (18, 20) opuestas entre sí se deposita respectivamente un sistema de capas (26, 28) que comprende varias capas amorfas (22, 24) compuestas de silicio y carbono con un procedimiento CVD, en particular con un procedimiento PECVD, sistema que contiene tanto una capa de pasivación (22) como también varias capas funcionales (24) que determinan la reflexión, donde los índices de refracción de la capa de pasivación (22) y de las capas funcionales (24) se ajustan a través de una variación del contenido de carbono durante la deposición.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 2, donde las superficies de clivaje (18, 20) se purifican al máximo bajo alto vacío antes de la aplicación del sistema de capas (26, 28) mediante procedimientos por plasma usando un gas de formación.
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 3, donde como gas de formación se usa argón y/o hidrógeno, cuyas partículas tienen energías cinéticas que son menores de 20 eV.
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 4, donde como gases de procedimiento para la deposición se usan metano, CH<sub>4</sub>, y silano, SiH<sub>4</sub>.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 5, donde el sistema de capas (26, 28) hecho de silicio y carbono se aplica en la misma cámara de procedimiento.



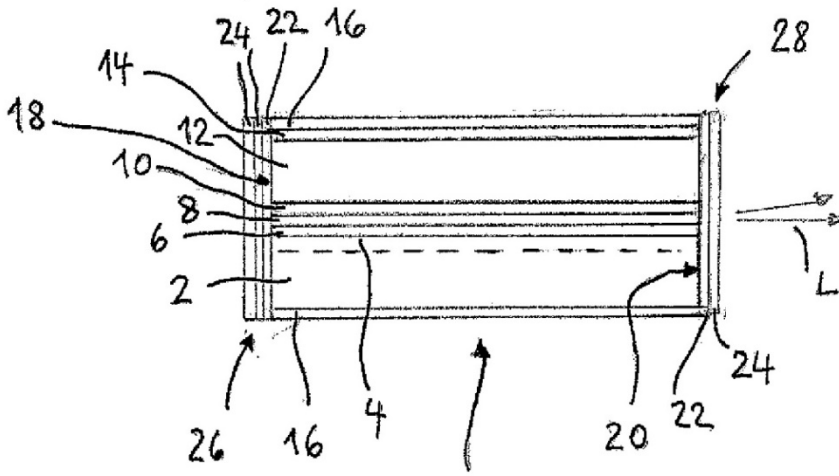


Fig. 1

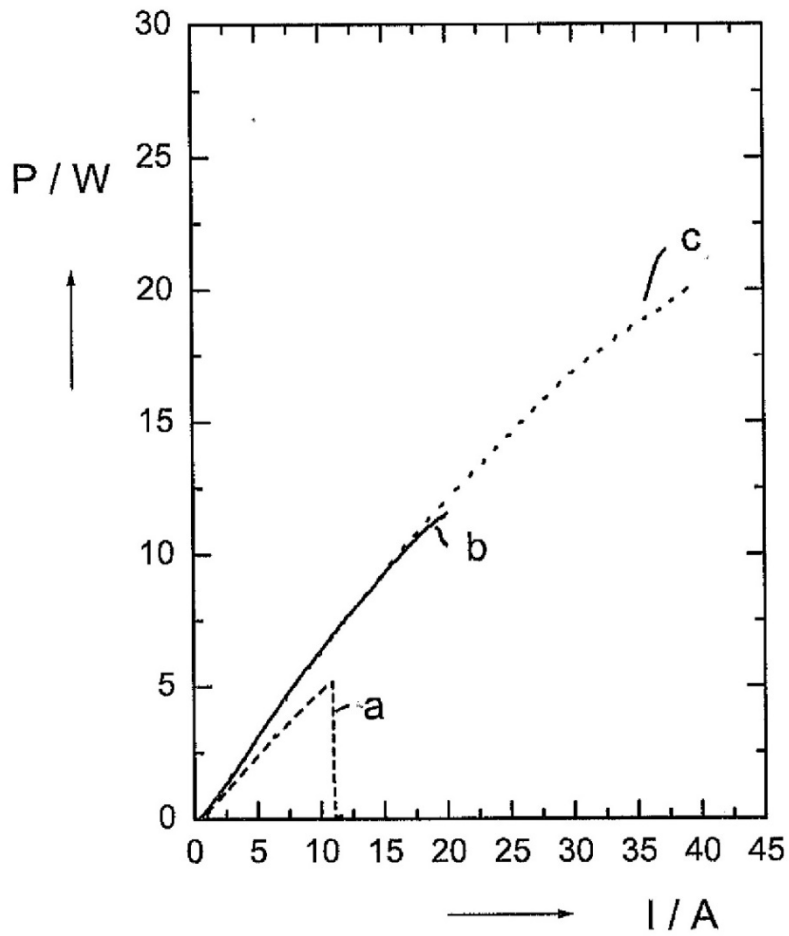


Fig. 2

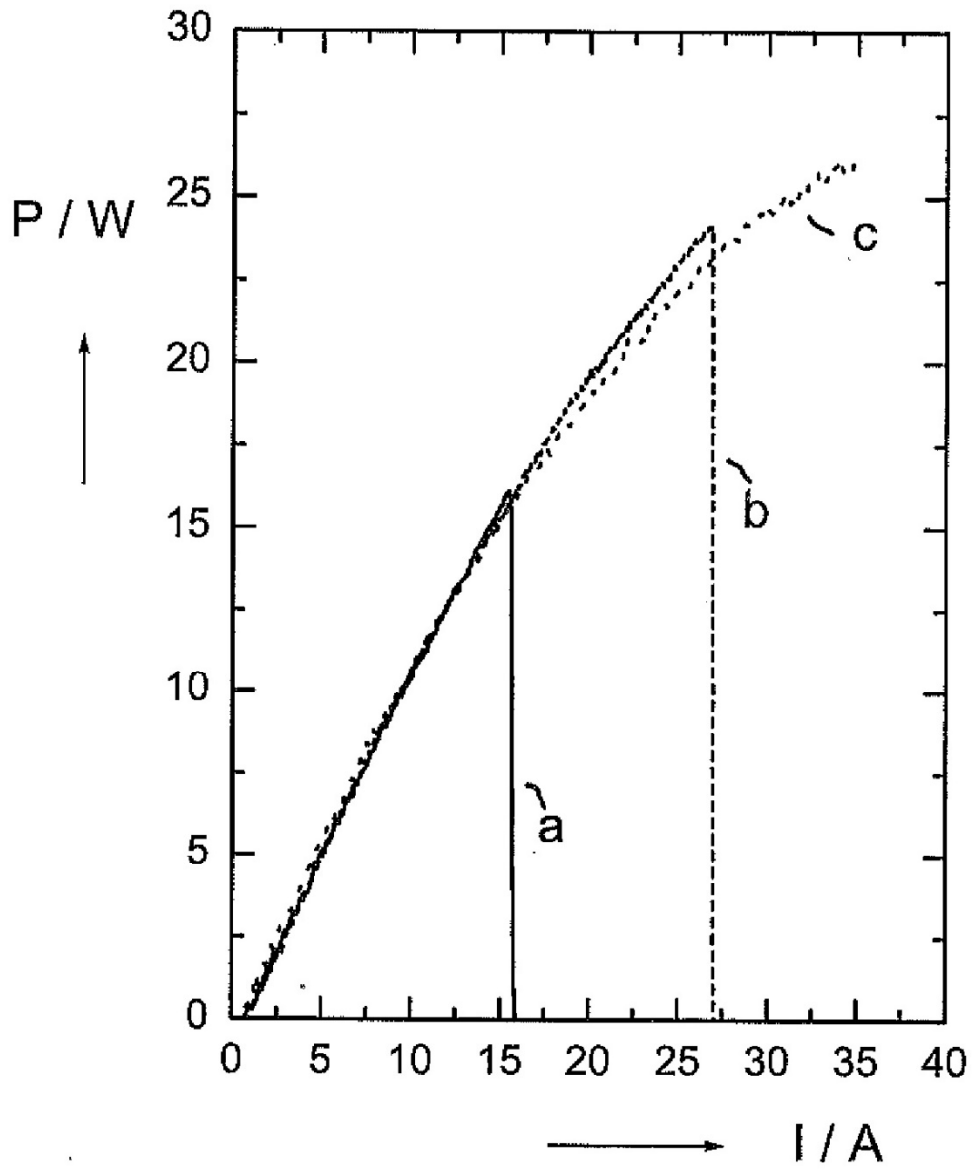


Fig. 3

