

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Juni 2023 (29.06.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/117293 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01S 3/00 (2006.01) B23K 26/06 (2014.01)
H01S 3/10 (2006.01) H01S 3/23 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/083135

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. November 2022 (24.11.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 133 903.0
20. Dezember 2021 (20.12.2021) DE

(71) Anmelder: TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECH-
NIK GMBH [DE/DE]; Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).

(72) Erfinder: HEIMES, Andreas; Strohgaeustrasse 3, 71272
Renningen (DE). STOLZENBURG, Christian; Gruen-
gang 13, 78464 Konstanz (DE).

(74) Anwalt: TRUMPF PATENTABTEILUNG; Trumpf SE
+ Co. KG, Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ,
DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO,
JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

(54) Title: DEVICE FOR GENERATING A DEFINED LASER LINE ON A WORKING PLANE

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUM ERZEUGEN EINER DEFINIERTEN LASERLINIE AUF EINER ARBEITSEBENE

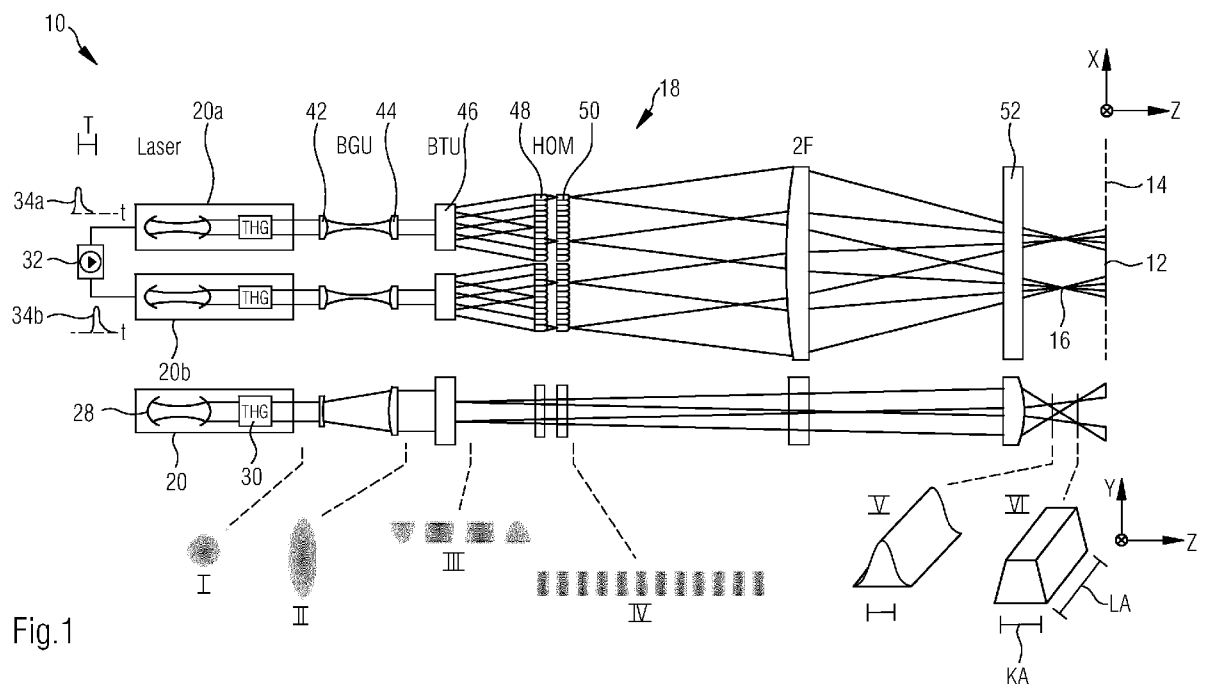


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a device for generating a defined laser line (12) on a working plane (14), said device comprising at least one laser light source (20) which has a pumped solid-state laser (28) and generates at least one pulsed UV laser raw beam (I). The device further comprises an optical arrangement (18) having a number of optical elements (42, 44, 46, 48, 50, 52) which define a beam path for the at least one pulsed UV laser raw beam (I). The optical arrangement (18) is designed to form a pulsed illumination beam (16) at a defined pulse rate from the at least one pulsed UV laser raw beam (I). The pulsed illumination beam (16) defines a beam direction (52) which intersects the working plane (14). The pulsed illumination beam (16) has a beam profile (V; VI) in the area of the working plane (14), said beam profile having, perpendicular to the beam direction, a long axis with a long axis beam width (LA) and a short axis with a short axis beam width (KA). According to one aspect of the invention, the optical arrangement (18) is designed to



NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.

generate the beam profile (V; VI) with a short axis beam width (KA) that is less than 250 μm , and the at least one laser light source (20) and the optical arrangement (18) are jointly designed to generate the pulsed illumination beam (16) in the area of the working plane (14) at a defined pulse rate that is greater than 1 kHz.

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung zum Erzeugen einer definierten Laserlinie (12) auf einer Arbeitsebene (14) besitzt zumindest eine Laserlichtquelle (20), die einen gepumpten Festkörperlaser (28) beinhaltet und zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl (I) erzeugt. Die Vorrichtung besitzt ferner eine optische Anordnung (18) mit einer Anzahl von optischen Elementen (42, 44, 46, 48, 50, 52), die einen Strahlengang für den zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl (I) definieren. Die optische Anordnung (18) ist dazu eingerichtet, einen gepulsten Beleuchtungsstrahl (16) mit einer definierten Pulsrate aus dem zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl (I) zu formen. Der gepulste Beleuchtungsstrahl (16) definiert eine Strahlrichtung, die die Arbeitsebene (14) schneidet. Der gepulste Beleuchtungsstrahl (16) besitzt im Bereich der Arbeitsebene (14) ein Strahlprofil (V; VI), das senkrecht zu der Strahlrichtung eine lange Achse mit einer Langachsstrahlbreite (LA) und eine kurze Achse mit einer Kurzachsstrahlbreite (KA) aufweist. Gemäß einem Aspekt ist die optische Anordnung (18) dazu eingerichtet, das Strahlprofil (V; VI) mit einer Kurzachsstrahlbreite (KA) zu erzeugen, die kleiner als 250 μm ist, und die zumindest eine Laserlichtquelle (20) und die optische Anordnung (18) sind gemeinsam dazu eingerichtet, den gepulsten Beleuchtungsstrahl (16) im Bereich der Arbeitsebene (14) mit einer definierten Pulsrate zu erzeugen, die größer als 1 kHz ist.

Vorrichtung zum Erzeugen einer definierten Laserlinie auf einer Arbeitsebene

- [0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Erzeugen einer definierten Laserlinie auf einer Arbeitsebene, mit zumindest einer Laserlichtquelle, die einen gepumpten Festkörperlaser aufweist und die dazu eingerichtet ist, zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl zu erzeugen, und mit einer optischen Anordnung mit einer Anzahl von optischen Elementen, die einen Strahlengang für den zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl definieren, wobei die optische Anordnung dazu eingerichtet ist, einen gepulsten Beleuchtungsstrahl mit einer definierten Pulsrate aus dem zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl zu formen, wobei der gepulste Beleuchtungsstrahl eine Strahlrichtung definiert, die die Arbeitsebene schneidet, und wobei der gepulste Beleuchtungsstrahl im Bereich der Arbeitsebene ein Strahlprofil besitzt, das senkrecht zu der Strahlrichtung eine lange Achse mit einer Langachsstrahlbreite und eine kurze Achse mit einer Kurzachsstrahlbreite aufweist.
- [0002]** Eine solche Vorrichtung ist dem Grunde nach aus US 2020/0235544 A1 bekannt.

- [0003]** Die linienförmige Laserbeleuchtung einer solchen Vorrichtung kann vorteilhaft dazu verwendet werden, um ein Werkstück thermisch zu bearbeiten. Das Werkstück kann beispielsweise ein Kunststoffmaterial auf einer Glasplatte sein, die als Trägermaterial dient. Das Kunststoffmaterial kann insbesondere eine Folie sein, auf der organische lichtemittierende Dioden, sogenannte OLEDs, und/oder Dünnschichttransistoren hergestellt werden. OLED-Folien werden in zunehmendem Maße für Displays in Smartphones, Tablet-PCs, Fernsehgeräten und anderen Geräten mit Bildschirmanzeige verwendet. Nach Herstellung der elektronischen Strukturen muss die Folie von dem Glasträger gelöst werden. Dies kann mit einer Laserbeleuchtung in Form einer dünnen Laserlinie geschehen, die mit einer definierten Geschwindigkeit relativ zu der Glasplatte bewegt wird und dabei die Haftverbindung der Folie durch die Glasplatte hindurch löst. Eine derartige Anwendung wird in der Praxis häufig als LLO bzw. Laser Lift Off bezeichnet.
- [0004]** Eine weitere vielgenutzte Anwendung für die sequentielle Beleuchtung eines Werkstücks mit einer definierten Laserlinie ist das zeilenweise Aufschmelzen von amorphem Silizium auf einer Trägerplatte. Die Laserlinie wird auch hier mit einer definierten Geschwindigkeit relativ zu der Werkstückoberfläche bewegt. Durch das Aufschmelzen und anschließende Abkühlen kann das vergleichsweise kostengünstige amorphe Silizium in höherwertigeres polykristallines Silizium umgewandelt werden. Eine derartige Anwendung wird in der Praxis häufig als Excimer Laser Annealing (ELA) bezeichnet, weil in vielen solchen Anwendungen Excimer Laser verwendet werden. Beispielsweise offenbart US 9,564,322 B1 ein solches Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung. Excimer Laser gehören zur Gruppe der Gaslaser und benötigen eine recht große Stellfläche (Footprint). Des Weiteren ist der ELA Prozess sehr energieintensiv und das Prozessfenster für das Aufschmelzen des amorphen Siliziums ist sehr klein, weil das amorphe Silizium nicht durchgängig aufgeschmolzen werden darf. Vielmehr muss das Aufschmelzen so erfolgen, dass isolierte feste Kristallisationskeime verbleiben.
- [0005]** Es gibt daher Vorschläge, anstelle von Excimer Lasern Festkörperlaser zu verwenden. Zum Teil wird für solche Anwendungen dann die Bezeichnung Solid State Laser Annealing (SLA) verwendet. Die eingangs genannte US 2020/0235544 A1 beschreibt eine Vorrichtung zur Umwandlung von amorphem Silizium unter Verwendung einer UV-Laserlinie, die mit Hilfe von mehreren Festkörperlasern erzeugt wird. Die Festkörperlaser erzeugen

eine IR-Laserstrahlung im nahen Infrarotbereich. Die Frequenz der IR-Laserstrahlung jeder Laserquelle wird mit einem nicht-linearen Kristall in mehreren Stufen verdoppelt und verdreifacht und auf diese Weise wird aus der IR-Laserstrahlung eine UV-Laserstrahlung erzeugt. In einem Ausführungsbeispiel werden sechs UV-Laserstrahlen aus sechs derartigen Laserquellen zu einem gemeinsamen Beleuchtungsstrahl zusammengeführt. US 2020/0235544 A1 hat sich zum Ziel gesetzt, die Prozessparameter, insbesondere die Pulsenergien und Strahlparameter des Beleuchtungsstrahls, so zu gestalten, dass sie den Prozessparametern beim Excimer Laser Annealing entsprechen. Dementsprechend soll die Pulsrate des Beleuchtungsstrahls zwischen 100Hz und 900Hz liegen. In einem Ausführungsbeispiel ist die Pulsrate 600 Hz.

[0006] Generell wird für derartige Anwendungen eine Laserlinie auf der Arbeitsebene benötigt, die in der einen Richtung möglichst lang ist, um eine möglichst breite Arbeitsfläche zu erfassen, und die im Vergleich dazu in der anderen Richtung sehr kurz ist, um eine für den jeweiligen Prozess benötigte Energiedichte bereitzustellen. Wünschenswert ist dementsprechend eine lange, dünne Laserlinie mit einem sehr großen Aspektverhältnis von Linienlänge zu Linienbreite. Man bezeichnet die Richtung, in der die Laserlinie verläuft, üblicherweise als lange Achse (LA) und die Linienbreite als kurze Achse (KA) des sogenannten Strahlprofils. In der Regel soll die Laserlinie in beiden Achsen einen definierten Intensitätsverlauf aufweisen. Wünschenswert ist häufig, dass die Laserlinie in der langen Achse ein möglichst rechteckiges oder trapezförmiges Intensitätsprofil besitzt, wobei Letzteres vorteilhaft sein kann, wenn mehrere Laserlinien in Linienrichtung zu einer längeren Gesamtlinie aneinandergesetzt werden. In der kurzen Achse ist je nach Anwendung häufig ein rechteckförmiges Intensitätsprofil (sogenanntes Top-Hat Profil) oder ein Gaußprofil gewünscht.

[0007] WO 2018/019374 A1 offenbart eine Vorrichtung zum Erzeugen einer solchen Laserlinie mit zahlreichen Details, die die Elemente der optischen Anordnung betreffen. Die optische Anordnung beinhaltet hier einen Kollimator, der einen Laserrohstrahl kollimiert, sowie einen Strahltransformator, einen Homogenisierer und eine Fokussierstufe. Der Strahltransformator nimmt den kollimierten Rohstrahl auf und weitet ihn in der langen Achse auf. Prinzipiell kann der Strahltransformator auch mehrere Laserrohstrahlen von mehreren Laserquellen aufnehmen und zu einem aufgeweiteten Laserstrahl mit höherer Leistung

kombinieren. Der Homogenisierer erzeugt das gewünschte Strahlprofil in der langen Achse. Die Fokussierstufe fokussiert den umgeformten Laserstrahl auf eine definierte Position im Bereich der Arbeitsebene. Die bekannte Vorrichtung eignet sich für LLO- und SLA-Anwendungen und kann prinzipiell mit Laserstrahlung mit Wellenlängen aus dem Infrarotbereich (IR) bis hin zum ultravioletten Bereich (UV) implementiert werden. DE 10 2028 115 126 B4 offenbart eine weitere Vorrichtung dieser Art, wobei die Aperturlängsrichtung am Ausgang des Strahltransformators hier um einen nicht verschwindenden Drehwinkel gegenüber der Linienlängsrichtung verdreht ist, um die Intensitätsverteilung in der langen Achse des Strahlprofils zu optimieren.

- [0008]** Die bekannten Vorrichtungen lassen Raum für Verbesserungen in Bezug auf die Herstellungs- und Betriebskosten und in Bezug auf die Prozessqualität. Dabei stellen SLA-Anwendungen höhere und zum Teil andere Anforderungen an die Eigenschaften des Strahlprofils als LLO Anwendungen, insbesondere in Bezug auf räumliche Homogenität und zeitliche Stabilität. Wünschenswert ist eine Vorrichtung, die sich auf kostengünstige Weise realisieren lässt und die eine möglichst flexible und skalierbare Verwendung für SLA- und/oder LLO-Anwendungen ermöglicht. Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, die die Erzeugung einer Laserlinie mit Wellenlängen im UV-Bereich auf effiziente und kostengünstige Weise ermöglicht.
- [0009]** Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird zur Lösung dieser Aufgabe eine Vorrichtung der eingangs genannten Art vorgeschlagen, wobei die optische Anordnung dazu eingerichtet ist, das Strahlprofil mit einer Kurzachsstrahlbreite zu erzeugen, die kleiner als 250 μm ist, und wobei die zumindest eine Laserlichtquelle und die optische Anordnung gemeinsam dazu eingerichtet sind, den gepulsten Beleuchtungsstrahl im Bereich der Arbeitsebene mit einer definierten Pulsrate zu erzeugen, die größer als 1 kHz ist.
- [0010]** Die neue Vorrichtung erzeugt eine dünnere Laserlinie als vergleichbare ELA-Vorrichtungen und beleuchtet die Arbeitsebene mit einer höheren Pulsrate als in der eingangs genannten US 2020/0235544 A1 beschrieben ist. Sie unterscheidet sich daher in den erreichbaren und verwendeten Prozessparametern von Excimer Laser Annealing und ist dahingehend optimiert, die zur Materialbearbeitung benötigte Prozessenergiedichte „in

kleineren Portionen“, d.h. in einem räumlich engeren Bereich, und dafür mit einer höheren Pulsrate, d.h. mit schneller aufeinanderfolgenden Laserpulsen bereitzustellen. In einigen bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die optische Anordnung dazu eingerichtet, den Beleuchtungsstrahl mit einer Strahlbreite in der kurzen Achse zu erzeugen, die in einem Bereich zwischen $25\mu\text{m}$ und $200\mu\text{m}$ bezogen auf die Strahlbreite bei 50% der maximalen Intensität (Full Width at Half Maximum, FWHM) liegt. Dabei besitzt der Beleuchtungsstrahl in den bevorzugten Ausführungsbeispielen eine Wellenlänge im Bereich zwischen 340-360nm. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen liegt die Pulsrate zwischen 1 kHz und 100 kHz, vorzugsweise in einem Bereich zwischen 5 kHz und 15 kHz. Die Pulslängen liegen vorteilhaft in einem Bereich zwischen 5ns-25ns. dementsprechend ist die zumindest eine Laserlichtquelle dazu eingerichtet, Laserpulse mit den genannten Pulslängen und Pulsraten zu erzeugen. Dies ist mit einem oder mehreren gepumpten Festkörperlasern im Gegensatz zu Excimer Lasern auf vergleichsweise kostengünstige Weise möglich. Darüber hinaus lassen sich die Pulslängen und Pulsraten von gepumpten Festkörperlasern vergleichsweise einfach steuern. Dementsprechend macht die neue Vorrichtung vorteilhaften Gebrauch von der Festkörperlasertechnologie und sie ermöglicht eine vorteilhafte flexiblere Anpassung der Prozessparameter an den jeweiligen Prozess.

[0011] Vorteilhaft besitzt die zumindest eine Laserquelle eine interne Leistungsregelung, was mit gepumpten Festkörperlasern ohne weiteres möglich ist. Prinzipiell ist aber auch eine externe Leistungsregelung denkbar und möglich. Die Pulsenergien des Beleuchtungsstrahls liegen vorteilhaft in einem Bereich zwischen 10mJ und 500mJ. In einigen vorteilhaften Ausführungsbeispielen arbeitet die neue Vorrichtung mit Pulsenergien in einer Größenordnung von etwa 40 mJ. Die Fluenz des Beleuchtungsstrahls liegt vorteilhaft in einem Bereich zwischen $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ bis $600\text{mJ}/\text{cm}^2$. Vorteilhaft kann die optische Anordnung dazu eingerichtet sein, das Strahlprofil in der kurzen Achse als Top-Hat- oder als Gaußprofil zu erzeugen.

[0012] Da die Laserpulse des Beleuchtungsstrahls der neuen Vorrichtung schneller aufeinander folgen als bei dem eingangs beschriebenen ELA Prozess, lässt sich die neue Vorrichtung einfacher für eine gewünschte Werkstückbearbeitung optimieren. Die geringe Linienbreite in der kurzen Achse ermöglicht einen kleinen Scan-Pitch, was eine Ausbildung von Kristallstrukturen mit hoher räumlicher Auflösung ermöglicht. Eine hohe räumliche Auflösung

der Kristallstrukturen ist vorteilhaft und wünschenswert, um hochauflösende Displays herzustellen. Aufgrund der hohen Pulsrate ergibt sich trotz kleinem Scan-Pitch eine hinreichende Produktivität. Darüber hinaus eignet sich die neue Vorrichtung aufgrund der hohen Pulsrate in Kombination mit der schmalen Laserlinie, um den räumlichen Wärmeeintrag in das zu bearbeitende Material in Abhängigkeit von individuellen Materialeigenschaften, wie etwa Wärmediffusionslängen, individuell zu optimieren. Beispielsweise kann der zeitliche Verlauf der Pulse des Beleuchtungsstrahls durch Kombination mehrerer, zeitlich zueinander versetzter Pulse individuell eingestellt und bei Bedarf variiert werden.

[0013] In einer bevorzugten Ausgestaltung besitzt die Vorrichtung daher eine Lasersteuereinheit, die dazu eingerichtet ist, die definierte Pulsrate zu variieren.

[0014] Wie schon erwähnt, ist dies mit Festkörperlasern auf vergleichsweise einfache Weise möglich. In bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die Lasersteuereinheit dazu eingerichtet, die Pulsrate in einem Bereich von Null (d.h. kein Puls) bis hin zu 100 kHz einzustellen. Vorteilhaft ist die Vorrichtung damit in der Lage, Laserpulse on-demand bzw. als Einzelpulse auf der Arbeitsebene zu erzeugen. Dies eröffnet neue Anwendungen. Die Ausgestaltung ermöglicht darüber hinaus eine flexible und insbesondere materialabhängige Optimierung eines Bearbeitungsprozesses. In einigen bevorzugten Ausführungsbeispielen beinhaltet die optische Anordnung zumindest einen akustisch-optischen Modulator (AOM, insbesondere als Bragg-Zelle), der einen oder mehreren Laserrohstrahlen entlang des Strahlengangs in Bezug auf die Wellenlänge, Ausbreitungsrichtung und/oder Intensität moduliert. Ein solcher AOM kann effizient verwendet werden, um die Parameter des Beleuchtungsstrahls der neuen Vorrichtung im Betrieb zu variieren. Alternativ oder zusätzlich kann ein elektro-optischer Modulator (EOM), insbesondere eine Pockels-Zelle in Verbindung mit einem Polarisator, eingesetzt werden, um die Intensität zu modulieren.

[0015] In einer weiteren Ausgestaltung beinhaltet die zumindest eine Laserlichtquelle eine erste Laserlichtquelle und eine zweite Laserlichtquelle, wobei die erste Laserlichtquelle dazu eingerichtet ist, einen ersten gepulsten UV-Laserrohstrahl mit ersten Laserpulsen zu erzeugen, und wobei die zweite Laserlichtquelle dazu eingerichtet ist, einen zweiten gepulsten UV-Laserrohstrahl mit zweiten Laserpulsen zu erzeugen. Des Weiteren ist die Lasersteuereinheit dazu eingerichtet ist, die erste Laserlichtquelle und die zweite

Laserlichtquelle so zu steuern, dass die ersten Laserpulse und die zweiten Laserpulse zeitlich versetzt zueinander sind.

- [0016]** In einem Ausführungsbeispiel besitzt die neue Vorrichtung 10 Laserquellen mit jeweils einem gepumpten Festkörperlaser, aus deren Laserrohstrahlen mit Hilfe der optischen Anordnung ein linienförmiger Beleuchtungsstrahl auf der Arbeitsebene erzeugt wird. Die Ausgestaltung besitzt aber auch schon mit zwei Laserquellen den Vorteil, dass die Pulse des Beleuchtungsstrahls durch den zeitlichen Versatz eine komplexe Pulsform annehmen können, etwa mit mehreren zeitlich gestaffelten Maxima, wie nachfolgend anhand einiger Ausführungsbeispiel gezeigt ist. Damit kann der Energieeintrag in das zu bearbeitende Material weiter optimiert werden. In einigen bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die Intensität des zeitlich ersten Laserpulses höher als die Intensität des zeitlich versetzten zweiten Laserpulses, so dass die Intensität jedes kombinierten Beleuchtungspulses während der Beleuchtung abnimmt. Das ist vorteilhaft, weil der zeitlich versetzte zweite Laserpuls auf ein bereits aufgeheiztes Material trifft. Die Ausgestaltung erleichtert eine effiziente thermische Materialbehandlung.
- [0017]** In einer weiteren Ausgestaltung ist die Lasersteuereinheit dazu eingerichtet, die erste Laserlichtquelle und die zweite Laserlichtquelle individuell zu steuern, so dass ein zeitlicher Versatz zwischen den ersten Laserpulsen und den zweiten Laserpulsen individuell einstellbar ist.
- [0018]** Die Ausgestaltung ermöglicht eine sehr variable Pulsformung über den individuell einstellbaren zeitlichen Versatz. Damit erleichtert diese Ausgestaltung die Prozessoptimierung auf effiziente Weise.
- [0019]** In einer weiteren Ausgestaltung ist die Lasersteuereinheit dazu eingerichtet ist, die ersten und zweiten Laserpulse zu einem Laserpulsverlauf mit mehreren Wendepunkten zu kombinieren.
- [0020]** Diese Ausgestaltung trägt zu einer sehr präzisen, räumlich-periodischen Kristallisierung bei SLA Anwendungen bei, da der Kristallisierungsprozess an jeder Bearbeitungsstelle

mehrfach angestoßen wird. Vorteilhaft liegt der Abstand der ersten beiden Wendepunkte des jeweiligen Beleuchtungspulses in einigen Ausführungsbeispielen zwischen 5ns-20ns und der Abstand der darauffolgenden Wendepunkte liegt zwischen 10ns-50ns. Diese Parameter führen zu einer sehr kontrollierten Kristallbildung bei einer SLA Anwendung.

- [0021]** Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung ist der Festkörperlaser nach einem MOPA (Master Oscillator Power Amplifier)-Konzept aufgebaut ist.
- [0022]** Insbesondere weist der gepulste UV-Laserrohstrahl mittels des Festkörperlasers erzeugte Laserpulse auf.
- [0023]** Insbesondere weist der Festkörperlaser einen Grundtakt auf, mit welchem Laserpulse erzeugt werden, wobei zwischen einer Auskopplung der Laserpulse und dem Grundtakt ein zeitlicher Unterschied besteht, welcher eine Standardabweichung von weniger als 500 ps und insbesondere weniger als 200 ps aufweist.
- [0024]** Insbesondere beträgt eine Pulsenergiestabilität von mittels des Festkörperlasers erzeugten Laserpulsen weniger als 1% und bevorzugt weniger als 0,5%.
- [0025]** Insbesondere weist der Festkörperlaser einen Master Oscillator und/oder einen Seed-Laser auf, welcher Laserpulse mit einem beliebigen Pulsverlauf innerhalb einer Zeitskala von weniger als 200 ns erzeugen kann.
- [0026]** Vorzugsweise weist der Festkörperlaser einen Power Amplifier und/oder eine Verstärkerstufe auf, welche auf einen Master Oscillator des Festkörperlasers folgt. Insbesondere weist der Power Amplifier und/oder die Verstärkerstufe eine Slab-Geometrie auf.
- [0027]** Es kann vorgesehen sein, dass der Power Amplifier und/oder die Verstärkerstufe einen Top-Hat-förmigen Intensitätsverlauf entlang der kurzen Achse emittiert.
- [0028]** Bei einer Ausführungsform kann der Festkörperlaser der zumindest einen Laserquelle in anderen Ausgestaltungen gütegeschaltet sein. In der bevorzugten Ausgestaltung wird der

Rohlaserstrahl zunächst mit einer geringen Leistung erzeugt und die Leistung wird in mindestens einer nachfolgenden Verstärkerstufe mit einem optischen Verstärker erhöht. Die Ausgestaltung ermöglicht ein sehr stabiles Zeitverhalten und einen sehr geringen Jitter zwischen aufeinanderfolgenden Laserpulsen. Daher ist diese Ausgestaltung besonders vorteilhaft in Kombination mit den hier vorgeschlagenen hohen Pulsraten.

[0029] In einer weiteren Ausgestaltung weist die Vorrichtung eine Werkstückauflage auf, die relativ zu dem Beleuchtungsstrahl bewegbar ist, sowie eine Steuereinheit, die dazu eingerichtet ist, die Werkstückauflage relativ zu dem Beleuchtungsstrahl so zu bewegen, dass zeitlich aufeinanderfolgende Pulse des Beleuchtungsstrahls die Werkstückauflage mit einem räumlichen Versatz beleuchten, der zwischen 2% und 10% der Kurzachsstrahlbreite, vorteilhaft bei etwa 5% liegt.

[0030] In dieser Ausgestaltung steuert die Steuereinheit die Bewegung der Laserlinie relativ zu einem zu bearbeitenden Werkstück mit einer definierten Bewegungsgeschwindigkeit und in einer definierten Bewegungsrichtung. Die Pulsrate und die Bewegungsgeschwindigkeit sind so abgestimmt, dass auf eine zu bearbeitende Werkstückstelle zumindest 10 und vorteilhaft 20 bis 40 Laserpulse treffen. In einigen Ausführungsbeispielen liegt der sogenannte Scan-Pitch, d.h. der räumliche Versatz des Werkstücks relativ zu der Laserlinie infolge der Bewegung, bei etwa $1\mu\text{m}$ – $10\mu\text{m}$. Diese Parameter ermöglichen eine sehr effiziente Aufheizung von amorphem Silizium und haben sich sowohl für SLA Anwendungen aber auch für LLO Anwendungen als vorteilhaft erwiesen.

[0031] In einer weiteren Ausgestaltung weist die zumindest eine Laserlichtquelle ferner ein Konversionsmodul auf, wobei der gepumpte Festkörperlaser einen IR-Laserrohstrahl erzeugt, und wobei das Konversionsmodul dazu eingerichtet ist, den zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl aus dem IR-Laserrohstrahl zu erzeugen.

[0032] Vorteilhaft weist das Konversionsmodul ein nicht-lineares optisches Medium auf, das einen oder mehrere UV-Laserrohstrahlen durch Frequenzvervielfachung aus IR-Laserrohstrahl erzeugt. In einigen vorteilhaften Ausführungsbeispielen beinhaltet das Konversionsmodul eine Frequenzvervielfachung und/oder Frequenzverdreifachung (Third

Harmonic Generation, THG) und/oder eine Frequenzverfünffachung. Prinzipiell kann das Konversionsmodul aber auch eine Frequenzverdopplung implementieren. Das Phänomen der Frequenzverdopplung oder Frequenzverdreifachung kann bei der Bestrahlung von ausgewählten Materialien mit energiereicher Laserstrahlung auftreten, beispielsweise wenn der IR-Laserrohstrahl eines Nd:YAG-Lasers einen Kristall aus Lithiumniobat, Kaliumdihydrogenphosphat, Bariummetaborat oder Lithiumtriborat bestrahlt. Mit dieser Ausgestaltung kann die neue Vorrichtung kostengünstig realisiert werden.

- [0033] In einer weiteren Ausgestaltung weist die optische Anordnung einen Strahltransformator auf, der dazu eingerichtet ist, den zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl in mehrere, in Richtung der langen Achse verteilte Strahlpakete aufzuteilen.
- [0034] Vorzugsweise erzeugt der Strahltransformator dieser Ausgestaltung eine richtungsabhängige Strahlqualität, die in Bezug auf die lange Achse des Strahlprofils kleiner ist als in Bezug auf die kurze Achse des Strahlprofils. In einigen bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die Beugungsmaßzahl $M^2_y < 10$ in der kurzen Achse und $M^2_x > 100$ in der langen Achse. Vorteilhaft ist M^2_x somit um einen Faktor 10 größer als M^2_y . Ein Strahltransformator der vorgenannten Art ermöglicht auf sehr effiziente Weise die Realisierung einer dünnen Laserlinie mit einer homogenen Intensitätsverteilung entlang der langen Achse und zugleich einer geringen Linienbreite in der kurzen Achse. Damit erleichtert ein solcher Strahltransformator im Strahlengang des zumindest einen UV-Laserrohstrahls eine kostengünstige und effiziente Realisierung der neuen Vorrichtung.
- [0035] In einer weiteren Ausgestaltung weist die optische Anordnung zumindest ein optisches Element auf, das dazu eingerichtet ist, eine Polarisation des gepulsten Beleuchtungsstrahls zu variieren.
- [0036] Vorteilhaft besitzt der Beleuchtungsstrahl der neuen Vorrichtung eine lineare Polarisation, wobei die lineare Polarisation in einigen Ausführungsbeispielen Polarisationsanteile sowohl in s-Richtung als auch in p-Richtung beinhalten. Die Ausgestaltung macht es auf einfache Weise möglich, die Polarisationsanteile des Beleuchtungsstrahls individuell einzustellen und in Abhängigkeit von der gewünschten Anwendung zu optimieren. Daher trägt

diese Ausgestaltung vorteilhaft dazu bei, optimale Prozessergebnisse auf effiziente Weise zu erreichen.

[0037] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0038] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels der neuen Vorrichtung,
- Fig. 2 eine vereinfachte Darstellung des Strahlprofils des Beleuchtungsstrahls auf der Arbeitsebene der neuen Vorrichtung,
- Fig. 3 drei beispielhafte Darstellungen von einem bzw. zwei zeitlich zueinander versetzten Laserpulsen, die eine Stelle auf einem Werkstück beleuchten, sowie den Temperaturverlauf des Materials an dieser Stelle,
- Fig. 4 eine vereinfachte Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der neuen Vorrichtung.

[0039] In Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel der neuen Vorrichtung in seiner Gesamtheit mit der Bezugsziffer 10 bezeichnet. Die Vorrichtung 10 erzeugt eine Laserlinie 12 im Bereich einer Arbeitsebene 14, um ein Werkstück (hier nicht dargestellt) zu bearbeiten, das im Bereich der Arbeitsebene 14 platziert ist. Die Laserlinie 12 verläuft in einer Richtung, die im Folgenden als x-Achse bezeichnet ist. Die Laserlinie besitzt eine Linienbreite, die hier in Richtung einer orthogonal zur x-Achse (Senkrecht zur Papierebene) verlaufenden y-Achse betrachtet wird. Dementsprechend korrespondiert die x-Achse im Folgenden mit

der langen Achse und die y-Achse korrespondiert mit der kurzen Achse eines auf der Arbeitsebene 14 gebildeten Strahlprofils eines Beleuchtungsstrahls 16.

- [0040]** Fig. 1 zeigt die Erzeugung der Laserlinie 12 im oberen Teil mit Blick auf die lange Achse und im unteren Teil mit Blick auf die kurze Achse. Ein Laserrohstrahl I mit einem zunächst weitgehend runden Querschnitt wird von zumindest einer Laserlichtquelle 20 emittiert. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel beinhaltet die zumindest eine Laserlichtquelle 20 zumindest zwei weitgehend baugleiche Laserlichtquellen 20a, 20b, die jeweils einen Laserrohstrahl I mit einem zunächst weitgehend runden Querschnitt erzeugen. Die Laserrohstrahlen I der Laserlichtquellen 20a, 20b sind hier entlang der langen Achse nebeneinander angeordnet.
- [0041]** Eine Strahlführungseinheit (BGU) formt den jeweiligen Laserrohstrahl I zu einem elliptischen Strahl II. Letzterer tritt in eine jeweilige Strahltransformationseinheit (BTU). Der jeweilige Ausgangsstrahl III aus der Strahltransformationseinheit beinhaltet mehrere Strahlenbündel, die entlang der langen Achse nebeneinander angeordnet sind und einen jeweiligen abbildenden Homogenisierer (HOM) beleuchten. Der jeweilige Homogenisierer erzeugt Ausgangspakete IV, die hier durch eine 2f-Anordnung integriert und in der Arbeitsebene 14 überlagert werden. Eine Projektionslinse (p-Linse) fokussiert den durch die Überlagerung gebildeten Beleuchtungsstrahl 16 und bildet den Ausgang der jeweiligen Strahltransformationseinheit (BTU) in der Arbeitsebene 14 ab. Mit einer solchen optischen Anordnung 18 kann wahlweise ein Strahlprofil V mit einem gaußförmigen Intensitätsverlauf über der kurzen Achse, ein Strahlprofil VI mit einem Top-Hat-förmigen Intensitätsverlauf über der kurzen Achse oder auch ein Strahlprofil mit einem komplexen Intensitätsverlauf über der kurzen Achse (vgl. Fig. 3c) erzeugt werden.
- [0042]** In jedem Fall besitzt das Strahlprofil des Beleuchtungsstrahls 16 eine lange Achse mit einer Langachsstrahlbreite LA und eine kurze Achse mit einer Kurzachsstrahlbreite KA. Die jeweilige Strahlbreite kann insbesondere als Breite des Intensitätsprofils $I(x, y)$ bei 50% der Maximalintensität (FWHM, Full Width at Half Maximum) betrachtet werden.

- [0043]** Fig. 2 zeigt in einer stark vereinfachten Darstellung ein Werkstück, das hier beispielhaft mit dem Top-Hat-förmigen Strahlprofil VI beleuchtet wird, auf einer Werkstückaufnahme 22. Das Werkstück kann beispielsweise eine Oberflächenschicht aus amorphem Silizium beinhalten, die mit Hilfe der Laserlinie 12 zu polykristallinem Silizium umgewandelt wird. Zur Bearbeitung wird die Werkstückaufnahme 22 hier mit Hilfe einer Steuereinheit 24 in Richtung eines Pfeils 26 bewegt. Infolge dessen treffen zeitlich aufeinander folgende Pulse des Beleuchtungsstrahls 16 die Werkstückoberfläche mit einem räumlichen Versatz D. In bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die Vorrichtung so eingerichtet, dass der räumlichen Versatz zwischen 2% und 10% der Kurzachsstrahlbreite KA und insbesondere bei etwa 5% der Kurzachsstrahlbreite KA liegt. Die Bewegungsrichtung des Strahlprofils relativ zu der Werkstückaufnahme 20 kann vorteilhaft der y-Richtung entsprechen. In anderen Ausführungsbeispielen kann das Werkstück eine transparente Trägerplatte sein, von der eine anhaftende Folie, beispielsweise eine OLED-Folie, gelöst werden soll (LLO Anwendung). In diesem Fall kann der räumliche Versatz D beispielsweise zwischen 20% bis 95% der Kurzachsstrahlbreite KA liegen.
- [0044]** In Fig. 1 ist die Vorrichtung 10 beispielhaft mit zwei Laserlichtquellen 20a, 20b dargestellt. In anderen Ausführungsbeispielen kann die Vorrichtung 10 eine höhere Anzahl an Laserlichtquellen, beispielsweise 4, 6, 8, 10 oder 12 Laserlichtquellen, oder nur eine einzelne Laserlichtquelle aufweisen. Über die Anzahl der Laserlichtquellen kann man die Länge und/oder Breite der Laserlinie 12, und/oder die Prozessenergiedichte an jeder Stelle der Laserlinie skalieren.
- [0045]** Die Laserlichtquellen 20 beinhalten hier jeweils einen Festkörperlaser 28, der Laserlicht im Infrarotbereich erzeugt. Vorteilhaft kann der Festkörperlaser 28 ein diodengepumpter Laser sein, der einen IR-Laserrohstrahl erzeugt. Beispielhaft kann der IR-Laserrohstrahl eine Wellenlänge im Bereich von 1030 nm aufweisen. Vorteilhaft ist der Festkörperlaser 28 hier in der Lage, Laserpulse im Bereich von $\tau \sim 20$ ns Halbwertsbreite (FWHM, Full Width at Half Maximum) mit einer Wiederholrate von $f = 10$ kHz auszusenden. Andere Wellenlängen, Pulsraten oder auch ein Einzelpulsbetrieb sind aber ohne Änderung der Strahlparameter denkbar und möglich.

- [0046]** Die Laserlichtquellen 20 beinhalten hier ferner ein Konversionsmodul 30 (THG, Third Harmonic Generation). Das Konversionsmodul 30 beinhaltet mindestens einen Kristall aus einem nichtlinearen optischen Material, wie etwa Lithiumniobat, Kaliumdihydrogenphosphat, Bariummetaborat oder Lithiumtriborat. Durch die Bestrahlung des Kristalls mit dem IR-Laserrohstrahl aus dem Festkörperlaser 28 werden Dipolschwingungen im Kristall angeregt, die zu einer Frequenzvervielfachung und/oder Frequenzverdreifachung der ausgangsseitigen Laserstrahlung führen. Vorzugsweise sind zwei Kristalle vorgesehen, in welchen jeweils durch die Bestrahlung mit dem IR-Laserrohstrahl Dipolschwingungen angeregt werden. Dementsprechend liefert jede Laserquelle 20 hier beispielhaft einen UV-Laserrohstrahl I mit einer Wellenlänge von $\lambda = 343 \text{ nm}$, einer Beugungsmaßzahl von etwa $M^2 \sim 20$ bis 25 und einer Pulsenergie von etwa $E = 40 \text{ mJ}$. Die Laserlichtquellen 20 sind vorzugsweise teilkohärente Quellen. In besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen sind die Laserlichtquellen 20 nach dem MOPA (Master Oscillator Power Amplifier)-Konzept aufgebaut.
- [0047]** Die Vorrichtung 10 beinhaltet eine Lasersteuereinheit 32, die in einigen Ausführungsbeispielen zusammen mit der Steuereinheit 24 eine kombinierte Vorrichtungssteuerung bildet. Die Lasersteuereinheit 32 steuert die Laserlichtquellen 20a, 20b hier so an, dass die Laserlichtquelle 20a einen ersten gepulsten Laserrohstrahl mit ersten Laserpulsen 34a erzeugt und dass die Laserlichtquelle 20b einen zweiten gepulsten Laserrohstrahl mit zweiten Laserpulsen 34b erzeugt. Wie in Fig. 1 angedeutet ist, kann die Lasersteuereinheit 32 die Laserlichtquellen 20a, 20b hier so ansteuern, dass die ersten Laserpulse 34a und die zweiten Laserpulse 34b zeitlich versetzt zueinander sind und somit zeitlich nacheinander auf ein zu bearbeitendes Werkstück treffen. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die Lasersteuereinheit 32 außerdem in der Lage, den zeitlichen Versatz T zwischen einem ersten Laserpuls 34a und einem zweiten Laserpuls 34b individuell einzustellen, mit-hin zu variieren. Des Weiteren ist die Lasersteuereinheit 32 in bevorzugten Ausführungsbeispielen in der Lage, die Pulsrate, mit der die Laserlichtquellen 20 die jeweiligen Laserpulse 34a, 34b wiederholt erzeugen, in einem Bereich von 1 Hz bis 10 kHz zu variieren. Dies kann in einigen vorteilhaften Ausführungsbeispielen mit Hilfe von einem oder mehreren akustisch-optischen Modulatoren (AOM) erreicht werden, die im Strahlengang der Laserrohstrahlen I angeordnet sind (hier nicht dargestellt) und von der Lasersteuereinheit 32

angesteuert werden. Alternativ oder ergänzend können die Laserpulse mit einer oder mehreren Verzögerungsleitungen zeitlich zueinander versetzt werden.

[0048] Die Vorteile einer solchen individuellen Steuerung der Laserlichtquellen 20a, 20b lassen sich anhand Fig. 3 erkennen. Fig. 3a zeigt oben einen zeitlichen Pulsverlauf eines einzelnen Laserpulses 34a und darunter einen Temperaturverlauf in dem Material, das mit dem Laserpuls 34a beleuchtet wird. Der Laserpuls zum Zeitpunkt 1 heizt das Material bis zur Schmelztemperatur 3 auf. Anschließend kommt es zu einem Abkühlen 4, weil für die Kristallisation des Materials Energie benötigt wird. Sobald die Kristallisation des Materials abgeschlossen ist, steigt die Temperatur wieder an. Wie in Fig. 3b dargestellt ist, macht es die Vorrichtung 10 auf einfache Weise möglich, mit Hilfe der Lasersteuereinheit 32 einen zweiten Laserpuls 34b zum Zeitpunkt 2 zu erzeugen, d.h. mit einem zeitlichen Versatz T zu dem ersten Laserpuls 34a zum Zeitpunkt 1. Der zweite Laserpuls 34b zum Zeitpunkt 2 verhindert ein zu schnelles Abkühlen 4. In bevorzugten Ausführungsbeispielen kann mit Hilfe der Lasersteuereinheit 32 eine komplexe Pulsform aus mehreren zeitlich gestaffelten Laserpulsen 34a, 34b erzeugt werden, wie dies in Fig. 3c dargestellt ist. Hier ist die Pulsform mit Hilfe von mehreren zeitlich versetzten Laserpulsen 34a, 34b so gestaltet, dass es einen anfänglichen schmalen Peak 1 und einen nachfolgenden Hügel 2 mit geringerer Intensität gibt, der das Material nachheizt. In einigen Ausführungsbeispielen ist die Vorrichtung 10 dazu eingerichtet, die ersten und zweiten Laserpulse 34a, 34b zu einem Laserpulsverlauf mit mehreren Wendepunkten 40a, 40b, 40c, 40d zu kombinieren

[0049] Wie in Fig. 1 dargestellt ist, beinhaltet die optische Anordnung 18 hier eine Vielzahl von optischen Elementen. Die Strahlführungseinheit (BGU) beinhaltet hier zwei Linsen 42, 44 in einer Teleskopanordnung. Daran schließen sich hier im Langachsstrahlengang jeweils ein Strahltransformator 46 und der abbildende Homogenisierer mit zwei Mikrolinsenarrays 48, 50 an.

[0050] Der Strahltransformator 46 kann in bevorzugten Ausführungsbeispielen ein für die einfallende Laserstrahlung transparentes, monolithisches, plattenförmiges Element mit einer Vorderseite und einer Rückseite beinhalten, die im Wesentlichen parallel zueinander stehen. Die Vorderseite und die Rückseite besitzen jeweils eine reflektierende Beschichtung, so dass der einfallende Laserrohstrahl II mehrfache Reflexionen in dem plattenförmigen

Element erfährt. Dabei wird jeweils ein Teil des reflektierten Strahls lateral in Richtung der langen Achse versetzt ausgekoppelt, so dass der einfallende Laserrohstrahl in nebeneinander angeordneten Strahlpaketen entlang der x-Achse austritt. In anderen Ausführungsbeispielen kann der Strahltransformator als oder mit Hilfe einer Blende realisiert sein. Da die lateral verteilten Strahlpakete unterschiedliche optische Weglängen durchlaufen, besitzt der Rohstrahl III entlang der x-Achse eine stark verringerte räumliche Kohärenz und entlang der y-Achse eine vergrößerte räumliche Kohärenz im Vergleich zu dem einfallenden Laserstrahl II. Die schon weiter oben erwähnte Projektionslinse 52 fokussiert den durch die Überlagerung der Strahlpakete aus dem Mikrolinsenarray 50 gebildeten Beleuchtungsstrahl 16 und bildet außerdem den Ausgang der jeweiligen Strahltransformatoren 46 in der Arbeitsebene 14 ab.

[0051]

Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung 10 in einer stark vereinfachten Darstellung. Dabei bezeichnen gleiche Bezugszeichen dieselben Elemente wie zuvor. Die Vorrichtung 10 besitzt in diesem Ausführungsbeispiel mehrere Laserlichtquellen 20a, 20b, 20c, die jeweils einen UV-Laserrohstrahl erzeugen. Die Laserrohstrahlen der Laserlichtquellen 20a, 20b, 20c sind hier einem optischen Element 60 zugeführt, das die Laserrohstrahlen miteinander mischt, um so die Homogenität der Laserlinie 12 in der langen Achse zu verbessern. Die gemischten Laserrohstrahlen sind hier zwei Strahltransformatoren 46 zugeführt. Danach folgt wiederum ein abbildender Homogenisierer mit Mikrolinsenarrays 48, 50 und mindestens ein optisches Element, welches den Strahl in kurzer Achse auf die Arbeitsebene fokussiert. Das optische Element kann Linsen beinhalten, die den Strahl in langer Achse auf die Arbeitsebene 14 abbilden. Außerdem besitzt die Vorrichtung 10 in diesem Ausführungsbeispiel ein oder mehrere optische Elemente 62, die die Polarisation für jeden Laserrohstrahl individuell einstellen. Alternativ könnte die Polarisation der aus dem optischen Element 60 austrittsseitigen Strahlen mit einem oder mehreren optischen Elementen 62 eingestellt werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Erzeugen einer definierten Laserlinie (12) auf einer Arbeitsebene (14), mit zumindest einer Laserlichtquelle (20), die einen gepumpten Festkörperlaser (28) aufweist und die dazu eingerichtet ist, zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl (I) zu erzeugen, mit einer optischen Anordnung (18) mit einer Anzahl von optischen Elementen (42, 44, 46, 48, 50, 52), die einen Strahlengang für den zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl (I) definieren, wobei die optische Anordnung (18) dazu eingerichtet ist, einen gepulsten Beleuchtungsstrahl (16) mit einer definierten Pulsrate aus dem zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl (I) zu formen, wobei der gepulste Beleuchtungsstrahl (16) eine Strahlrichtung definiert, die die Arbeitsebene (14) schneidet, und wobei der gepulste Beleuchtungsstrahl (16) im Bereich der Arbeitsebene (14) ein Strahlprofil (V; VI) besitzt, das senkrecht zu der Strahlrichtung eine lange Achse mit einer Langachsstrahlbreite (LA) und eine kurze Achse mit einer Kurzachsstrahlbreite (KA) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Anordnung (18) dazu eingerichtet ist, das Strahlprofil (V; VI) mit einer Kurzachsstrahlbreite (KA) zu erzeugen, die kleiner als 250 μm ist, und dass die zumindest eine Laserlichtquelle (20) und die optische Anordnung (18) gemeinsam dazu eingerichtet sind, den gepulsten Beleuchtungsstrahl (16) im Bereich der Arbeitsebene (14) mit einer definierten Pulsrate zu erzeugen, die größer als 1 kHz ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Lasersteuereinheit (32), die dazu eingerichtet ist, die definierte Pulsrate zu variieren.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Laserlichtquelle (20) eine erste Laserlichtquelle (20a) und eine zweite Laserlichtquelle (20b) beinhaltet, wobei die erste Laserlichtquelle (20a) dazu eingerichtet ist, einen ersten gepulsten UV-Laserrohstrahl mit ersten Laserpulsen (34a) zu erzeugen, und wobei die zweite Laserlichtquelle (20b) dazu eingerichtet ist, einen zweiten gepulsten UV-Laserrohstrahl mit zweiten Laserpulsen zu erzeugen, und ferner gekennzeichnet durch eine Lasersteuereinheit (32), die dazu eingerichtet ist, die erste Laserlichtquelle (20a) und die zweite Laserlichtquelle (20b) so zu

steuern, dass die ersten Laserpulse (34a) und die zweiten Laserpulse (34b) zeitlich versetzt zueinander sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Lasersteuereinheit (32) dazu eingerichtet ist, die erste Laserlichtquelle (20a) und die zweite Laserlichtquelle (20b) individuell zu steuern, so dass ein zeitlicher Versatz (T) zwischen den ersten Laserpulsen (34a) und den zweiten Laserpulsen (34b) individuell einstellbar ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Lasersteuereinheit (32) dazu eingerichtet ist, die ersten und zweiten Laserpulse (34a, 34b) zu einem Laserpulsverlauf mit mehreren Wendepunkten (40a, 40b, 40c, 40d) zu kombinieren.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Festkörperlaser (28) nach einem MOPA (Master Oscillator Power Amplifier)-Konzept aufgebaut ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Festkörperlaser (28) einen Grundtakt aufweist, mit welchem Laserpulse erzeugt werden, wobei zwischen einer Auskopplung der Laserpulse und dem Grundtakt ein zeitlicher Unterschied besteht, welcher eine Standardabweichung von weniger als 500 ps und insbesondere weniger als 200 ps aufweist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Pulsenergiestabilität von mittels des Festkörperlasers (28) erzeugten Laserpulsen weniger als 1% und bevorzugt weniger als 0,5% beträgt.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, ferner gekennzeichnet durch eine Werkstückauflage (22), die relativ zu dem Beleuchtungsstrahl (16) bewegbar ist, und eine Steuereinheit (24), die dazu eingerichtet ist, die Werkstückauflage (22) relativ zu dem Beleuchtungsstrahl (16) so zu bewegen, dass zeitlich

aufeinanderfolgende Pulse des Beleuchtungsstrahls (16) die Werkstückauflage (22) mit einem räumlichen Versatz (D) beleuchten, der zwischen 2% und 10% der Kurzachsstrahlbreite (KA) liegt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Laserlichtquelle (20) ferner ein Konversionsmodul (30) aufweist, wobei der gepumpte Festkörperlaser (28) einen IR-Laserrohstrahl erzeugt, und wobei das Konversionsmodul (30) dazu eingerichtet ist, den zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl (I) aus dem IR-Laserrohstrahl zu erzeugen.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Anordnung (18) einen Strahltransformator (46) aufweist, der dazu eingerichtet ist, den zumindest einen gepulsten UV-Laserrohstrahl (I) in mehrere, in Richtung der langen Achse verteilte Strahlpakete aufzuteilen.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Anordnung (18) zumindest ein optisches Element (62) aufweist, das dazu eingerichtet ist, eine Polarisierung des gepulsten Beleuchtungsstrahls (16) zu variieren.

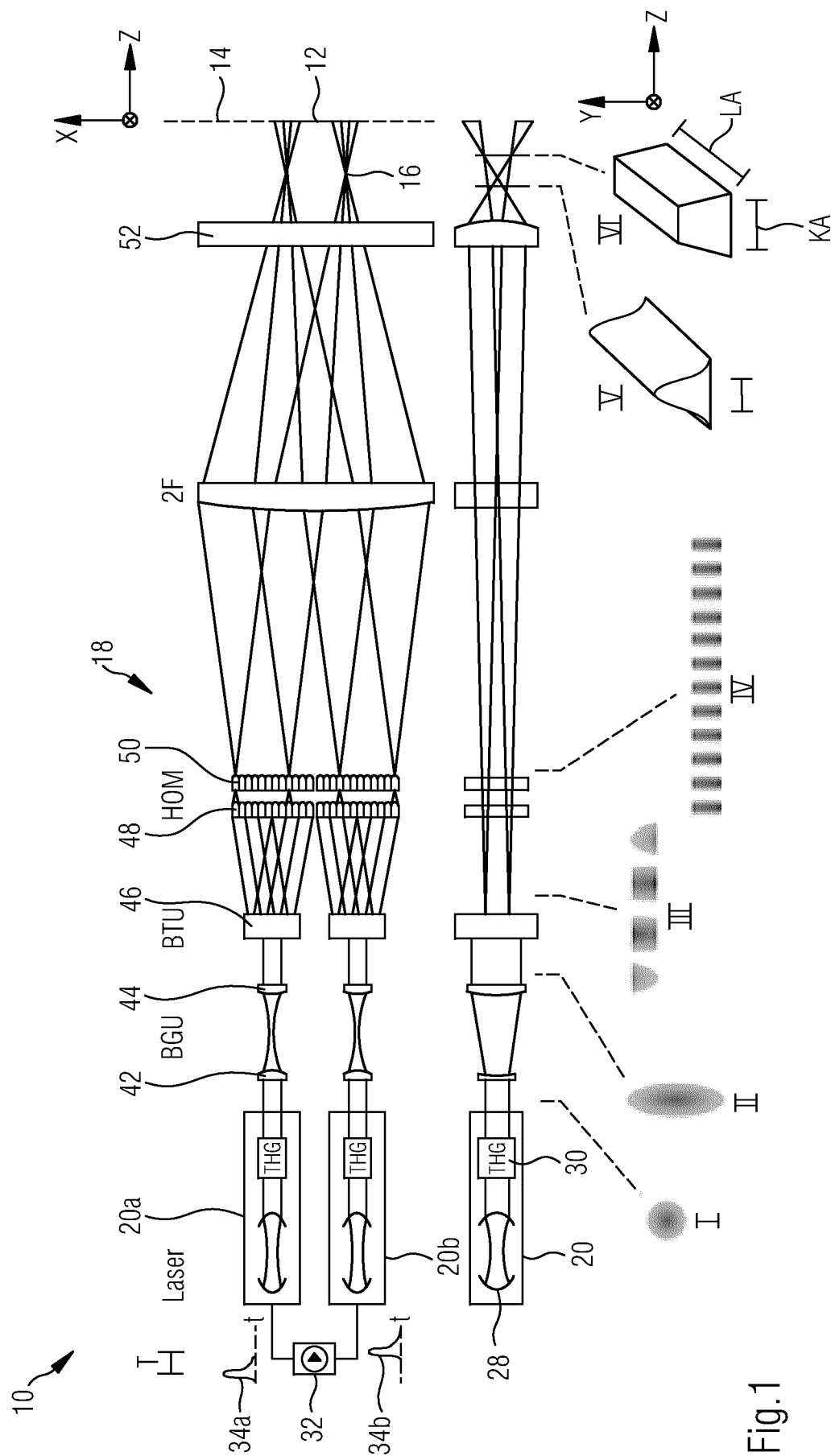
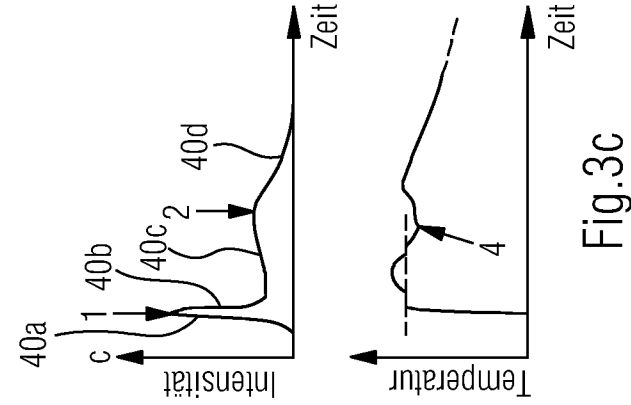
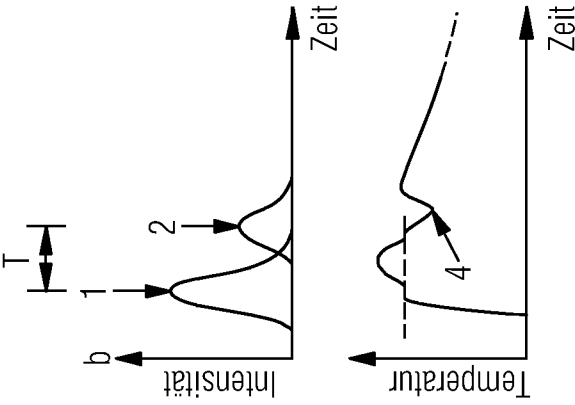
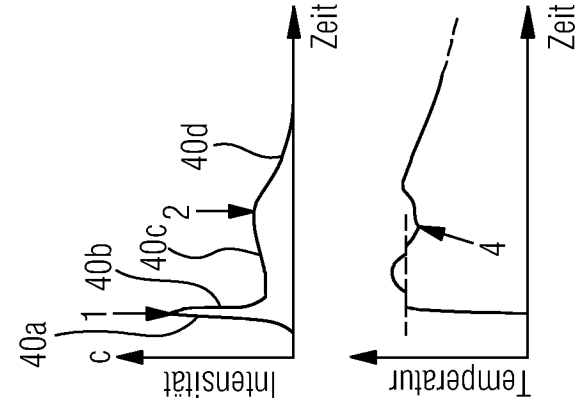
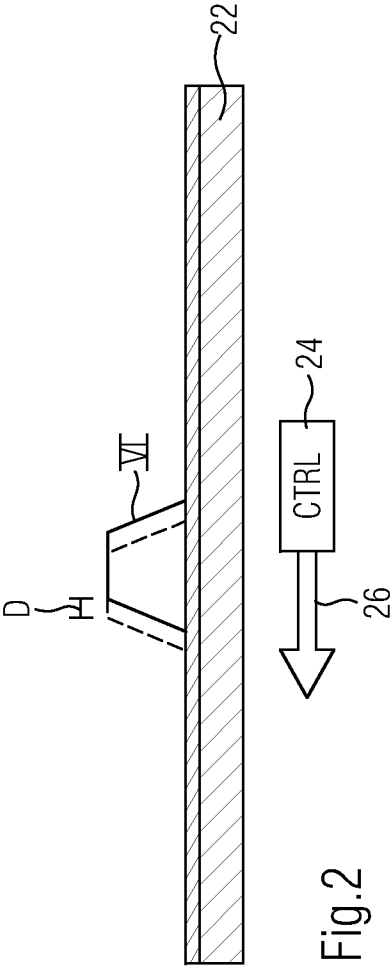


Fig.1



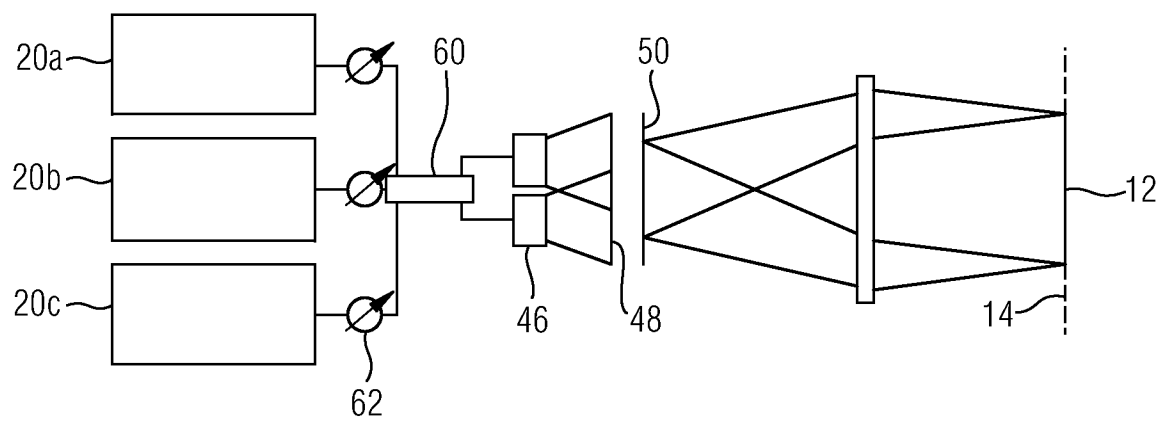


Fig.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/083135

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01S 3/00**(2006.01)i; **H01S 3/10**(2006.01)i; **B23K 26/06**(2014.01)i; **H01S 3/23**(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S; B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102019112141 A1 (INNOVAVENT GMBH [DE]) 12 November 2020 (2020-11-12) paragraphs [0044] - [0096]; figures 1-7	1-12
X	Innovavent. "UV Solid State Laser Annealing UV Line Beam on beam dump UV Solid State Laser Annealing using VOLCANO LINE BEAM Optics Superior p-Si Film Quality for OLED TFT Back Plates" 01 May 2019 (2019-05-01), Retrieved from the Internet: https://www.innovavent.com/files/UV-Solid-State-Laser-Annealing-05.2019.pdf [retrieved on 2023-03-15] XP093031781 page 2; figures 1-4	1-12
X	HUNEUS FLORIAN ET AL. "Compact line focus system for laser-based debonding of flexible electronic components" <i>SPIE PROCEEDINGS; [PROCEEDINGS OF SPIE ISSN 0277-786X], SPIE, US</i> , Vol. 10906, 04 March 2019 (2019-03-04), pages 109060G-109060G DOI: 10.1117/12.2513763 ISBN: 978-1-5106-3673-6. XP060119392 page 109060G2, paragraph 3 - page 10906G6, paragraph 4; figures 1,5-7; table 1	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 March 2023

Date of mailing of the international search report

24 March 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Laenen, Robert

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/083135

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102019112141	A1	12 November 2020	CN	113811981	A	17 December 2021
				DE	102019112141	A1	12 November 2020
				JP	2022533566	A	25 July 2022
				KR	20220007139	A	18 January 2022
				WO	2020225016	A1	12 November 2020

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	H01S3/00	H01S3/10 B23K26/06
ADD.	H01S3/23	
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
H01S B23K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2019 112141 A1 (INNOVAVENT GMBH [DE]) 12. November 2020 (2020-11-12) Absätze [0044] - [0096]; Abbildungen 1-7 -----	1-12
X	Innovavent: "UV Solid State Laser Annealing UV Line Beam on beam dump UV Solid State Laser Annealing using VOLCANO LINE BEAM Optics Superior p-Si Film Quality for OLED TFT Back Plates", , 1. Mai 2019 (2019-05-01), XP93031781, Gefunden im Internet: URL:https://www.innovavent.com/files/UV-Solid-State-Laser-Annealing-05.2019.pdf [gefunden am 2023-03-15] Seite 2; Abbildungen 1-4 ----- -/--	1-12
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
16. März 2023		24/03/2023
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Laenen, Robert

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	HUNEUS FLORIAN ET AL: "Compact line focus system for laser-based debonding of flexible electronic components", SPIE PROCEEDINGS; [PROCEEDINGS OF SPIE ISSN 0277-786X], SPIE, US, Bd. 10906, 4. März 2019 (2019-03-04), Seiten 10906G-10906G, XP060119392, DOI: 10.1117/12.2513763 ISBN: 978-1-5106-3673-6 Seite 10906G2, Absatz 3 - Seite 10906G6, Absatz 4; Abbildungen 1,5-7; Tabelle 1 -----	1-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/083135

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102019112141 A1	12-11-2020	CN 113811981 A	17-12-2021
		DE 102019112141 A1	12-11-2020
		JP 2022533566 A	25-07-2022
		KR 20220007139 A	18-01-2022
		WO 2020225016 A1	12-11-2020
