

(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
12. Juni 2025 (12.06.2025)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2025/119720 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/06 (2014.01) B23K 103/12 (2006.01)
B23K 26/0622 (2014.01) B23K 103/10 (2006.01)
B23K 26/082 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/083712

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. November 2024 (27.11.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 134 098.0
06. Dezember 2023 (06.12.2023) DE

(71) Anmelder: **TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECH-
NIK SE** [DE/DE]; Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzin-
gen (DE).

(72) Erfinder: **HAUG, Patrick**; Gillteich 11, 72296 Unteriflin-
gen (DE). **BOCKSROCKER, Oliver**; Schillerstr. 7, 74343
Sachsenheim (DE). **HESSE, Tim**; Haldenstrasse 54, 71254

Ditzingen (DE). **SPEKER, Nicolai**; Buchenweg 11, 74385
Pleidelsheim (DE).

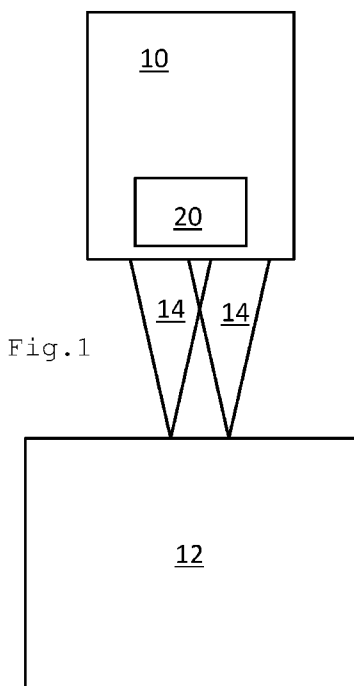
(74) **Anwalt: TRUMPF PATENTABTEILUNG**; Trumpf SE
+ Co. KG Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).

(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, MU, MW, MX, MY,
MZ, 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, SC, 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,

(54) **Title:** LASER DEVICE AND METHOD FOR MACHINING AT LEAST ONE WORKPIECE BY MEANS OF AT LEAST TWO
LASER BEAMS

(54) **Bezeichnung:** LASEREINRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM BEARBEITEN MINDESTENS EINES WERKSTÜCKS
MITTELS MINDESTENS ZWEI LASERSTRAHLEN



(57) **Abstract:** The invention relates to a laser device (10) having the features of
claim 1 for machining, in particular laser-welding, at least one workpiece (12)
by means of at least two laser beams (14) and to a method having the features
of the additional independent claim for machining, in particular laser-welding,
at least one workpiece (12) by means of at least two laser beams (14).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Lasereinrichtung (10) zum
Bearbeiten, insbesondere Laserschweißen, mindestens eines Werkstücks (12)
mittels mindestens zwei Laserstrahlen (14) mit Merkmalen des Anspruchs 1 und
ein Verfahren zum Bearbeiten, insbesondere Laserschweißen, mindestens eines
Werkstücks (12) mittels mindestens zwei Laserstrahlen (14) mit Merkmalen des
nebeneordneten Anspruchs.

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)

5

10

15

Titel: Lasereinrichtung und Verfahren zum Bearbeiten
mindestens eines Werkstücks mittels mindestens zwei
Laserstrahlen

Beschreibung

25 Die Erfindung betrifft eine Lasereinrichtung zum Bearbeiten
mindestens eines Werkstücks mit Merkmalen des Anspruchs 1 und
ein Verfahren zum Bearbeiten mindestens eines Werkstücks mit
Merkmalen des nebengeordneten Anspruchs.

30 Beim Laserschweißen von mindestens zwei Komponenten werden für
das Tiefenschweißen üblicherweise CW-Laser (Continuous Wave)
mit einer konstanten Leistung über die Dauer des
Laserschweißens verwendet. Insbesondere beim Tiefenschweißen
von metallischen Werkstoffen mit einer niedrigen Viskosität
35 können Instabilitäten im Schweißbereich, insbesondere im
sogenannten Keyhole, entstehen. So können bspw. Spritzer,
Poren und/oder eine unregelmäßige Einschweißtiefe entstehen.
Um solche Instabilitäten zu reduzieren können mehrere
Laserstrahlen überlagert werden. Dadurch können, insbesondere

bei metallischen Werkstoffen mit niedriger Viskosität, jedoch nicht alle Instabilitäten beseitigt werden.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine
5 Lasereinrichtung und ein Verfahren zum Bearbeiten,
insbesondere Laserschweißen, mindestens eines Werkstücks
bereitzustellen, wobei die obigen Nachteile ausgeräumt werden.

Die obige Aufgabe wird durch eine Lasereinrichtung zum
10 Bearbeiten mindestens eines Werkstücks mittels mindestens zwei
Laserstrahlen mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Bei
der Bearbeitung kann es sich um Laserschweißen handeln.

Die Lasereinrichtung ist eingerichtet, um mindestens zwei,
15 insbesondere mindestens vier, Laserstrahlen mit jeweils einer
Ausgangsleistung zu erzeugen, auf das Werkstück zu fokussieren
und die Ausgangsleistung der Laserstrahlen mit einer
Variations-Frequenz von mindestens 50 kHz (Kilohertz) und
einer Variations-Amplitude von mindestens 10 % der
20 Ausgangsleistung zu variieren. Dabei kann die Variations-
Amplitude sowohl positiv als auch negativ sein. Mit anderen
Worten, die Ausgangsleistung kann periodisch erhöht (bei
positiver Variations-Amplitude) und/oder reduziert (bei
negativer Variations-Amplitude) werden.

25

Hierdurch kann eine (zusätzliche) Stabilisierung des Keyholes,
insbesondere in Werkstücken mit einer niedrigeren Viskosität,
erzielt werden, wodurch die Spritzer und Poren abnehmen und
eine möglichst kontinuierliche Einschweißtiefe erzielt werden
30 kann. Die Instabilitäten des Keyholes können insbesondere
dadurch vermieden oder zumindest reduziert werden, dass die
Dampftrate und der Dampfdruck schnell genug erhöht und

reduziert werden, sodass ein Kollabieren des Keyholes vermieden werden kann. Mit anderen Worten, das Keyhole kann durch ein gezieltes Beeinflussen des Dampfdrucks (bzw. der Dampftrate) stabilisiert werden, was zu weniger Spritzern, Poren und einer konstanten Einschweißtiefe führen kann. Insbesondere kann eine Stabilisierung einer Wandung des Keyholes erzielt werden.

Die Lasereinrichtung kann ein Strahlformungselement zum Erzeugen von einem "Multifokus-Strahl" aufweisen. Das Strahlformungselement kann ein oder mehrere optische Keile umfassen.

Gemäß einer Weiterbildung der Lasereinrichtung können alle Laserstrahlen jeweils identisch ausgebildet sein.

Hierdurch kann das Erzeugen der Laserstrahlen vereinfacht und mit einfachen Mitteln umgesetzt werden.

Gemäß einer Weiterbildung der Lasereinrichtung kann mindestens ein Laserstrahl, insbesondere mindestens zwei Laserstrahlen, jeweils eine höhere Leistung aufweisen, als die restlichen Laserstrahlen. So ist es bspw. denkbar, dass bei zwei Laserstrahlen ein erster Laserstrahl in eine Vorschubrichtung vor einem zweiten Laserstrahl angeordnet sein kann, wobei die Leistung des ersten Laserstrahls höher, als die Leistung des zweiten Laserstrahls sein kann. Entsprechend können bspw. bei vier Laserstrahlen zwei erste Laserstrahlen in die Vorschubrichtung vor zwei zweiten Laserstrahlen angeordnet sein, wobei die beiden ersten Laserstrahlen eine höhere Leistung aufweisen können, als die zwei zweiten Laserstrahlen. Bei vier Laserstrahlen können die Laserstrahlen in einem

viereckigen, insbesondere rechteckigen, vorzugsweise quadratischen, Muster auf dem Werkstück fokussiert bzw. angeordnet sein.

- 5 Hierdurch lässt sich der Schweißbereich, insbesondere das Keyhole, weiter stabilisieren. Dies kann zur weiteren Reduzierung der Instabilität (innerhalb des Keyholes) und zu weniger Spritzern und Poren, sowie einer konstanten Einschweißtiefe führen.

10

Gemäß einer Weiterbildung der Lasereinrichtung kann die Lasereinrichtung zur Erzeugung der Laserstrahlen einen CW-Laser umfassen. Dabei kann die Lasereinrichtung derart eingerichtet sein, dass die Laserstrahlen jeweils mit einer
15 Modulationsfrequenz und einer Modulationsamplitude moduliert werden. Dabei können die Modulationsfrequenz der Variations-Frequenz und die Modulationsamplitude der Variations-Amplitude entsprechen. Der CW-Laser kann eine durchschnittliche Leistung von mindestens 0,2 kW (Kilowatt), vorzugsweise mindestens 4
20 kW, aufweisen.

Hierdurch können die Laserstrahlen mit einfachen Mitteln erzeugt werden.

- 25 Es ist ebenso denkbar, dass die Lasereinrichtung zur Erzeugung der Laserstrahlen einen gepulsten Laser umfassen kann. Dabei kann eine Pulswiederholrate des gepulsten Lasers der Variations-Frequenz entsprechen. Der gepulste Laser kann eine durchschnittliche Leistung von mindestens 0,2 kW, vorzugsweise
30 mindestens 4 kW, und/oder eine Pulsenergie von mindestens 10 mJ (Millijoule), vorzugsweise mindestens 50 mJ, aufweisen.

Es ist denkbar, dass der Kernbereich des Laserspots mittels eines gepulsten Lasers (insbesondere eines ns(Nanosekunden)-gepulsten Lasers) und der Ringbereich des Laserspots mittels eines CW-Laser erzeugt werden oder umgekehrt.

5

Der gepulste Laser und/oder der CW-Laser können jeweils ein Strahlparameterprodukt von maximal 8 mm*mrad (Millimeter*Milliradian) aufweisen. Der gepulste Laser und/oder der CW-Laser können jeweils als (Multi-Mode) NIR-Laser (Near InfraRed) ausgebildet sein. Es ist ebenso denkbar, dass der gepulste Laser und/oder der CW-Laser jeweils als ein Laser im sichtbaren Bereich (VIS-Laser) mit einer Wellenlänge in einem blauen oder grünen Wellenlängenbereich ausgebildet sein können. Der gepulste Laser und/oder der CW-Laser können jeweils als ein Festkörperlaser ausgebildet sein.

10

15

Die Lasereinrichtung kann eine Steuereinrichtung umfassen. Die Steuereinrichtung kann zur Programmierung und/oder Steuerung der (hochfrequenten) Modulation bzw. Pulsation mit der Variations-Frequenz von mindestens 50 kHz eingerichtet sein.

20

Gemäß einer Weiterbildung der Lasereinrichtung kann die Lasereinrichtung derart eingerichtet sein, dass die Laserstrahlen auf dem Werkstück jeweils einen Laserspot erzeugen. Der Laserspot kann einen Kernbereich und einen Ringbereich aufweisen. Der Kernbereich kann kreisförmig ausgebildet sein. Der Ringbereich kann ringförmig ausgebildet sein. Der Kernbereich kann innerhalb des Ringbereichs angeordnet sein. Eine mittlere Laser-Leistungsdichte im Kernbereich kann höher sein, als eine mittlere Laser-Leistungsdichte im Ringbereich. Die mittlere Laser-Leistungsdichte im Ringbereich kann insbesondere maximal 5 %

25

30

der Laserleistung betragen. Zur Erzeugung der Kern- bzw. Ringbereiche kann die Lasereinrichtung ein optisches Element zur Strahlteilung, insbesondere eine Keilweiche, umfassen.

- 5 Hierdurch lässt sich der Schweißbereich, insbesondere das Keyhole, weiter stabilisieren. Dies kann zur weiteren Reduzierung der Instabilität (innerhalb des Keyholes) und zu weniger Spritzern und Poren, sowie einer konstanten Einschweißtiefe führen.

10

- Gemäß einer Weiterbildung der Lasereinrichtung kann die Lasereinrichtung zur Erzeugung der Laserstrahlen und/oder der Laserspots eine Faser (2 in 1 Faser) mit einem Kernbereich und einem Ringbereich umfassen. Der Kernbereich der Faser kann
15 einen Außendurchmesser von höchstens 30 µm (Mikrometer), insbesondere von höchstens 20 µm, vorzugsweise von höchstens 10 µm (bspw. bei Grundmode bzw. Single Mode) aufweisen. Alternativ kann der Kernbereich der Faser einen größeren Außendurchmesser aufweisen, insbesondere von mindestens 50 µm
20 oder 100 µm (bspw. bei Multi Mode). Der Ringbereich kann einen Außendurchmesser von 200 µm oder 400 µm aufweisen. Der Kernbereich kann innerhalb des Ringbereichs angeordnet sein. Das Verhältnis zwischen dem Außendurchmesser des Kernbereichs und dem Außendurchmesser des Ringbereichs kann im Bereich von
25 1:2 bis 1:9, insbesondere 1:3, 1:4 oder 1:6, liegen. Der Kernbereich kann eine Ummantelung (Cladding) aufweisen. Die Ummantelung kann zwischen dem Kernbereich und dem Ringbereich angeordnet sein. Die Ummantelung kann eine Dicke von maximal
30 10 µm aufweisen.

30

Hierdurch lässt sich der Schweißbereich, insbesondere das Keyhole, weiter stabilisieren. Dies kann zur weiteren

Reduzierung der Instabilität (innerhalb des Keyholes) und zu weniger Spritzern und Poren, sowie einer konstanten Einschweißtiefe führen.

- 5 Gemäß einer Weiterbildung der Lasereinrichtung kann die Lasereinrichtung derart eingerichtet sein, dass eine Anstiegszeit und/oder Abfallzeit der Variation-Amplitude maximal 10 µm beträgt.
- 10 Vorliegend ist mit Anstiegszeit die Zeit gemeint, die benötigt wird, um die Laserleistung auf einen Maximalwert (bspw. die positive Variations-Amplitude) zu erhöhen. Entsprechend ist mit einer Abfallzeit die Zeit gemeint, die benötigt wird, um die Laserleistung auf einen Minimalwert (bspw. die negative
- 15 Variations-Amplitude) zu reduzieren.

Hierdurch lässt sich der Schweißbereich, insbesondere das Keyhole, weiter stabilisieren. Dies kann zur weiteren Reduzierung der Instabilität (innerhalb des Keyholes) und zu

20 weniger Spritzern und Poren, sowie einer konstanten Einschweißtiefe führen.

Gemäß einer Weiterbildung der Lasereinrichtung kann die Lasereinrichtung eine Schwenkoptik zum Bewegen der

25 Laserstrahlen über das Werkstück umfassen. Die Schwenkoptik kann als Schweißoptik ausgebildet sein. Die Schwenkoptik kann ein Abbildungsverhältnis in einem Bereich von 1:1 bis 5:1 aufweisen.

30 Hierdurch lässt sich mit einfachen Mitteln ein Vorschub der Laserstrahlen auf dem Werkstück umsetzen.

Gemäß einer Weiterbildung der Lasereinrichtung kann die Lasereinrichtung mindestens eine Düse zum Zuführen eines Schutzgases (Schneid- oder Schweißgas) auf das Werkstück umfassen. Die Düse kann eine Laval-Innengeometrie aufweisen.

5

Hierdurch lässt sich mit einfachen Mitteln eine Zuführung des Schutzgases umsetzen und somit die Bearbeitung des Werkstücks weiter optimieren.

10 Die obige Aufgabe wird weiter durch ein Verfahren zum Bearbeiten mindestens eines Werkstücks mittels mindestens zwei Laserstrahlen mit den Merkmalen des nebengeordneten Anspruchs gelöst. Bei der Bearbeitung kann es sich um Laserschweißen handeln. Das Verfahren umfasst die Schritte:

15

Bereitstellen des Werkstücks. Das Werkstück kann aus Metall, insbesondere Aluminium und/oder Kupfer, ausgebildet sein. Das Werkstück kann im schmelzflüssigen Zustand (bei Schmelztemperatur) eine Viskosität von maximal 5 mPa*s (Millipascal * Sekunde) aufweisen. Das Werkstück kann eine Dicke von maximal 4 mm (Millimeter) aufweisen.

20

Erzeugen und Fokussieren von mindestens zwei, insbesondere mindestens vier, Laserstrahlen mit jeweils einer

25

Ausgangsleistung auf das Werkstück.

Variieren, insbesondere Pulsieren oder Modulieren, der Laserstrahlen mit einer Variations-Frequenz von mindestens 50 kHz und einer Variations-Amplitude von mindestens 10 % der Ausgangsleistung. Dabei können eine Anstiegszeit und/oder Abfallzeit der Variations-Amplitude kleiner als 10 µs (Mikrosekunden) sein. Die Variations-Amplitude kann sowohl

30

positiv als auch negativ sein. Mit anderen Worten, die Ausgangsleistung kann periodisch erhöht (bei positiver Variations-Amplitude) und/oder reduziert (bei negativer Variations-Amplitude) werden.

5

Hierdurch kann eine (zusätzliche) Stabilisierung des Keyholes, insbesondere in Werkstücken mit einer niedrigeren Viskosität, erzielt werden, wodurch die Spritzer und Poren abnehmen und eine möglichst kontinuierliche Einschweißtiefe erzielt werden

10

kann. Die Instabilitäten des Keyholes können insbesondere dadurch vermieden oder zumindest reduziert werden, dass die Dampftrate und der Dampfdruck schnell genug erhöht und reduziert werden, sodass ein Kollabieren des Keyholes vermieden werden kann. Mit anderen Worten, das Keyhole kann

15

durch ein gezieltes Beeinflussen des Dampfdrucks (bzw. der Dampftrate) stabilisiert werden, was zu weniger Spritzern, Poren und einer konstanten Einschweißtiefe führen kann. Insbesondere kann eine Stabilisierung einer Wandung des Keyholes erzielt werden.

20

Das Verfahren kann den Schritt umfassen:

Zuführen eines Schutzgases (Schneid- oder Schweißgas) auf das Werkstück, insbesondere in den Bereich der Bearbeitung des Werkstücks. Dies kann mittels einer Düse, insbesondere mit einer Laval-Innengeometrie, umgesetzt werden.

25

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens kann das Verfahren den Schritt umfassen:

30

Bewegen der Laserstrahlen und/oder des Werkstücks, um einen Vorschub der auf dem Werkstück fokussierten Laserstrahlen in

eine Vorschubrichtung zu erzeugen. Dabei können die Laserstrahlen mittels einer Schwenkoptik über das Werkstück bewegt werden. Die Bewegung der Laserstrahlen und/oder des Werkstücks kann eine Relativbewegung zwischen den

5 Laserstrahlen und dem Werkstück sein. Mit anderen Worten, es können entweder die Laserstrahlen oder das Werkstück oder beides bewegt werden. Mindestens ein erster Laserstrahl wird in Vorschubrichtung vor mindestens einem zweiten Laserstrahl angeordnet. Der erste Laserstrahl weist dabei eine höhere
10 Leistung auf, als der zweite Laserstrahl. Ebenso denkbar ist es, dass mindestens zwei erste Laserstrahlen in Vorschubrichtung vor mindestens zwei zweite Laserstrahlen angeordnet werden, wobei die ersten Laserstrahlen eine höhere Leistung aufweisen, als die zweiten Laserstrahlen.

15

Hierdurch kann mit einfachen Mitteln eine fortlaufende Bearbeitung des Werkstücks, bspw. eine Schweißnaht, erzeugt werden wobei das Keyhole, insbesondere mindestens eine Wandung des Keyholes, weiter stabilisiert werden kann.

20

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens kann zur Durchführung des Verfahrens eine Lasereinrichtung gemäß obiger Ausführungen verwendet werden.

25

Hinsichtlich der damit erzielbaren Vorteile wird auf die diesbezüglichen Ausführungen zur Lasereinrichtung verwiesen. Zur weiteren Ausgestaltung des Verfahrens können die im Zusammenhang mit der Lasereinrichtung beschriebenen und/oder die nachfolgend noch erläuterten Maßnahmen dienen.

30

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der

folgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Lasereinrichtung
zum Bearbeiten mindestens eines Werkstücks;

Fig. 2 ein schematisches Diagramm eines Leistungsverlaufs
eines CW-Lasers der Lasereinrichtung gemäß Figur 1.

10 In Figur 1 ist eine Lasereinrichtung 10 zum Bearbeiten
mindestens eines Werkstücks 12 mittels mindestens zwei
Laserstrahlen 14 schematisch dargestellt. Vorliegend handelt
es sich bei der Bearbeitung um Laserschweißen.

15 Die Lasereinrichtung 10 ist eingerichtet, um mindestens zwei,
insbesondere mindestens vier, Laserstrahlen 14 mit jeweils
einer Ausgangsleistung 16 (vgl. Figur 2) zu erzeugen und auf
das Werkstück 12 zu fokussieren. Die Lasereinrichtung 10 ist
weiter eingerichtet, um die Ausgangsleistung 16 der
20 Laserstrahlen 14 mit einer Variations-Frequenz von mindestens
50 kHz und einer Variations-Amplitude 18 von mindestens 10 %
der Ausgangsleistung 16 zu variieren.

Die Lasereinrichtung 10 kann zudem derart eingerichtet sein,
25 dass eine Anstiegszeit und/oder eine Abfallzeit der
Variations-Amplitude 18 maximal 10 μ s beträgt.

Die Laserstrahlen 14 sind vorliegend jeweils identisch
ausgebildet. Ebenso ist es denkbar, dass mindestens ein
30 Laserstrahl 14, insbesondere mindestens zwei Laserstrahlen 14,
jeweils eine höhere Leistung aufweisen, als die restlichen
Laserstrahlen 14.

Die Lasereinrichtung 10 kann einen CW-Laser zur Erzeugung der Laserstrahlen 14 umfassen. Die Lasereinrichtung 10 kann derart eingerichtet sein, dass die Laserstrahlen 14 mit einer
5 Modulationsfrequenz und einer Modulationsamplitude moduliert werden. Dabei können die Modulationsfrequenz der Variations-Frequenz und die Modulationsamplitude der Variations-Amplitude 18 entsprechen. Der CW-Laser kann eine durchschnittliche Leistung von mindestens 1 kW, insbesondere von mindestens 4
10 kW, aufweisen.

Die Lasereinrichtung 10 umfasst vorliegend eine Schwenkoptik 20 zum Bewegen der Laserstrahlen 14 über das Werkstück 12. Die Schwenkoptik 20 kann ein Abbildungsverhältnis in einem Bereich
15 von 1:1 bis 5:1 aufweisen. Die Schwenkoptik 10 ist vorliegend als Schweißoptik ausgebildet.

Die Lasereinrichtung 10 kann mindestens eine Düse zum Zuführen eines Schutzgases auf das Werkstück 12 umfassen dabei kann es
20 sich um eine Düse mit einer Laval-Innengeometrie handeln.

Die Lasereinrichtung 10 kann derart eingerichtet sein, dass die Laserstrahlen 14 auf dem Werkstück 12 jeweils einen Laserspot erzeugen. Dabei kann der Laserspot einen,
25 insbesondere kreisförmigen, Kernbereich aufweisen. Der Laserspot kann einen, insbesondere ringförmigen, Ringbereich aufweisen. Dabei kann der Kernbereich des Laserspots im Ringbereich des Laserspots angeordnet sein. Eine mittlere Laser-Leistungsdichte im Kernbereich des Laserspots kann höher
30 sein, als eine mittlere Laser-Leistungsdichte im Ringbereich des Laserspots.

Zur Erzeugung der Laserstrahlen 14 und/oder der Laserspots kann die Lasereinrichtung 10 mindestens eine Faser umfassen. Die Faser kann einen Kernbereich und einen Ringbereich umfassen. Der Kernbereich kann innerhalb des Ringbereichs
5 angeordnet sein. Der Kernbereich kann einen Außendurchmesser von 50 μm oder 100 μm aufweisen. Der Ringbereich kann einen Außendurchmesser von 200 μm oder 400 μm , aufweisen.

Figur 2 zeigt ein schematisches Diagramm eines
10 Leistungsverlaufs des CW-Lasers der Lasereinrichtung 10 gemäß Figur 1.

In dem dargestellten Diagramm ist eine Leistung 22 des CW-Lasers der Lasereinrichtung 10 in Watt über der Zeit 24 in
15 Sekunden aufgetragen. Mit anderen Worten, auf der x-Achse ist die Zeit 24 in Sekunden und auf der Y-Achse die Leistung 22 in Watt dargestellt.

Die Leistung 22 des CW-Lasers wird vorliegend mit der
20 Modulationsfrequenz und der Modulationsamplitude moduliert. Mit anderen Worten, die Ausgangsleistung 16 des CW-Lasers wird periodisch um mindestens 10 % (Modulationsamplitude) variiert. So wird die Ausgangsleistung 16 des CW-Lasers um die Modulationsamplitude bzw. die Variations-Amplitude 18 in
25 regelmäßigen Abständen von maximal 20 μs (da die Modulationsfrequenz bzw. Variations-Frequenz mindestens 50 kHz beträgt) verändert. In dem dargestellten Beispiel wird die Ausgangsleistung 16 in Abständen von maximal 20 μs um die Variations-Amplitude 18 reduziert und wieder auf den Wert der
30 Ausgangsleistung 16 erhöht. Vorliegend ist die Variations-Amplitude größer 10 % und kleiner 100 % der Ausgangsleistung 16.

Die Anstiegszeit ist die Zeit, die benötigt wird, um die Leistung 22 des CW-Lasers von einem Minimalwert zu einem Maximalwert (vorliegend der Wert der Ausgangsleistung 16) zu erhöhen. Entsprechend ist die Abfallzeit die Zeit, die benötigt wird, um die Leistung 22 des CW-Lasers von dem Maximalwert zu dem Minimalwert zu reduzieren. Vorliegend handelt es sich lediglich um ein schematisches Diagramm, so dass die Anstiegszeit und die Abfallzeit vorliegend als senkrechte Flanken (= Null Sekunden) und damit nicht maßstabsgetreu wiedergegeben werden. Die Anstiegszeit und die Abfallzeit können jeweils kleiner 10 μ s sein.

Im Folgenden wird ein Verfahren zum Bearbeiten, insbesondere Laserschweißen, mindestens eines Werkstücks 12 anhand der Figuren 1 und 2 beschrieben. Das Verfahren umfasst die Schritte:

Bereitstellen des Werkstücks 12. Das Werkstück 12 kann aus Metall, insbesondere Aluminium und/oder Kupfer, ausgebildet sein. Das Werkstück 12 kann im schmelzflüssigen Zustand eine Viskosität von maximal 5 mPa*s aufweisen.

Erzeugen und Fokussieren von mindestens zwei, insbesondere mindestens vier, Laserstrahlen 14 mit jeweils einer Ausgangsleistung 16 auf das Werkstück 12.

Variieren, insbesondere Pulsieren oder Modulieren, der Laserstrahlen 14 mit einer Variations-Frequenz von mindestens 50 kHz und einer Variations-Amplitude 18 von mindestens 10 % der Ausgangsleistung 16. Eine Anstiegszeit und/oder eine

Abfallzeit der Variations-Amplitude 18 kann kleiner als 10 μ s sein.

Das Verfahren kann den Schritt umfassen:

5

Bewegen der Laserstrahlen 14 und/oder des Werkstücks 12, um einen Vorschub der auf dem Werkstück 12 fokussierten Laserstrahlen 14 in eine Vorschubrichtung zu erzeugen.

Mindestens ein erster Laserstrahl 14 wird in Vorschubrichtung
10 vor mindestens einem zweiten Laserstrahl 14 angeordnet. Der erste Laserstrahl 14 kann eine höhere Leistung aufweisen, als der zweite Laserstrahl 14. Bei mindestens vier Laserstrahlen 14, können mindestens zwei erste Laserstrahlen 14 in Vorschubrichtung vor mindestens zwei zweite Laserstrahlen 14
15 angeordnet werden. Dabei können die ersten Laserstrahlen 14 jeweils eine höhere Leistung aufweisen, als die zweiten Laserstrahlen 14.

Zur Durchführung des Verfahrens kann eine Lasereinrichtung 10
20 gemäß obiger Ausführungen, insbesondere die in Figur 1 gezeigte Lasereinrichtung 10, verwendet werden.

Patentansprüche

1. Lasereinrichtung (10) zum Bearbeiten, insbesondere
5 Laserschweißen, mindestens eines Werkstücks (12) mittels
mindestens zwei Laserstrahlen (14), wobei die
Lasereinrichtung (10) eingerichtet ist, um mindestens
zwei, insbesondere mindestens vier, Laserstrahlen (14)
jeweils mit einer Ausgangsleistung (16) zu erzeugen, auf
10 das Werkstück (12) zu fokussieren und die
Ausgangsleistung (16) der Laserstrahlen (14) mit einer
Variations-Frequenz von mindestens 50 kHz und einer
Variations-Amplitude (18) von mindestens 10 % der
Ausgangsleistung (16) zu variieren.
- 15 2. Lasereinrichtung (10) nach Anspruch 1, dadurch
gekennzeichnet, dass alle Laserstrahlen (14) jeweils
identisch ausgebildet sind.
3. Lasereinrichtung (10) nach Anspruch 1, dadurch
gekennzeichnet, dass mindestens ein Laserstrahl (14),
20 insbesondere mindestens zwei Laserstrahlen (14), jeweils
eine höhere Leistung aufweisen, als die restlichen
Laserstrahlen (14).
4. Lasereinrichtung (10) nach einem der voranstehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die
25 Lasereinrichtung (10) zum Erzeugen der mindestens zwei
Laserstrahlen (14), insbesondere aller Laserstrahlen
(14), mindestens einen CW-Laser umfasst, wobei die
Lasereinrichtung (10) derart eingerichtet ist, dass die
mindestens zwei Laserstrahlen (14), insbesondere alle
30 Laserstrahlen (14) jeweils, mit einer

Modulationsfrequenz und einer Modulationsamplitude moduliert werden, wobei die Modulationsfrequenz der Variations-Frequenz und die Modulationsamplitude der Variations-Amplitude (18) entsprechen, insbesondere wobei der CW-Laser eine durchschnittliche Leistung von mindestens 0,2 kW, vorzugsweise mindestens 4 kW, aufweist.

5. Lasereinrichtung (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die

Lasereinrichtung (10) derart eingerichtet ist, dass die Laserstrahlen (14) auf dem Werkstück (12) jeweils einen Laserspot erzeugen, wobei der Laserspot einen, insbesondere kreisförmigen, Kernbereich und einen, insbesondere ringförmigen, Ringbereich aufweist, wobei eine mittlere Laser-Leistungsdichte im Kernbereich höher ist, als eine mittlere Laser-Leistungsdichte im Ringbereich.

6. Lasereinrichtung (10) nach dem voranstehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Lasereinrichtung (10) zur Erzeugung der Laserstrahlen (14) und/oder der Laserspots mindestens eine Faser mit einem Kernbereich und einem Ringbereich umfasst.

7. Lasereinrichtung (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die

Lasereinrichtung (10) derart eingerichtet ist, dass eine Anstiegs- und/oder Abfallzeit der Variations-Amplitude (18) maximal 10 μ s beträgt.

8. Lasereinrichtung (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die

Lasereinrichtung (10) eine Schwenkoptik (20) zum Bewegen

der Laserstrahlen (14) über das Werkstück (12) umfasst, insbesondere wobei die Schwenkoptik (20) ein Abbildungsverhältnis in einem Bereich von 1:1 bis 5:1 aufweist.

- 5 9. Lasereinrichtung (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lasereinrichtung (10) mindestens eine Düse zum Zuführen eines Schutzgases auf das Werkstück (12) umfasst, insbesondere wobei die Düse eine Laval-Innengeometrie
10 aufweist.
10. Verfahren zum Bearbeiten, insbesondere Laserschweißen, mindestens eines Werkstücks (12) mittels mindestens zwei Laserstrahlen (14) umfassend die Schritte:
- 15 - Bereitstellen des Werkstücks (12), insbesondere wobei das Werkstück (12) aus Metall, vorzugsweise Aluminium und/oder Kupfer, ausgebildet ist und im schmelzflüssigen Zustand eine Viskosität von maximal 5 mPa*s aufweist;
- 20 - Erzeugen und Fokussieren von mindestens zwei, insbesondere mindestens vier, Laserstrahlen (14) jeweils mit einer Ausgangsleistung (16) auf das Werkstück (12);
- Variieren, insbesondere Pulsieren oder Modulieren, der Laserstrahlen (14) mit einer Variations-Frequenz von mindestens 50 kHz und einer Variations-Amplitude (18)
25 von mindestens 10 % der Ausgangsleistung (16), insbesondere wobei die Anstiegs- und/oder Abfallzeit der Variations-Amplitude (18) maximal 10 µs beträgt.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren den Schritt umfasst:
- 30 - Bewegen der Laserstrahlen (14) und/oder des

- Werkstücks (12), um einen Vorschub der auf dem Werkstück (12) fokussierten Laserstrahlen (14) in eine Vorschubrichtung zu erzeugen, wobei mindestens ein erster Laserstrahl (14) in Vorschubrichtung vor
5 mindestens einem zweiten Laserstrahl (14) angeordnet wird, wobei der erste Laserstrahl (14) eine höhere Leistung aufweist, als der zweite Laserstrahl (14), insbesondere wobei mindestens zwei erste Laserstrahlen (14) in Vorschubrichtung vor mindestens zwei zweite
10 Laserstrahlen (14) angeordnet werden, wobei die ersten Laserstrahlen (14) eine höhere Leistung aufweisen, als die zweiten Laserstrahlen (14).
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass zur Durchführung des Verfahrens
15 eine Lasereinrichtung (10) einem der Ansprüche 1 bis 9 verwendet wird.

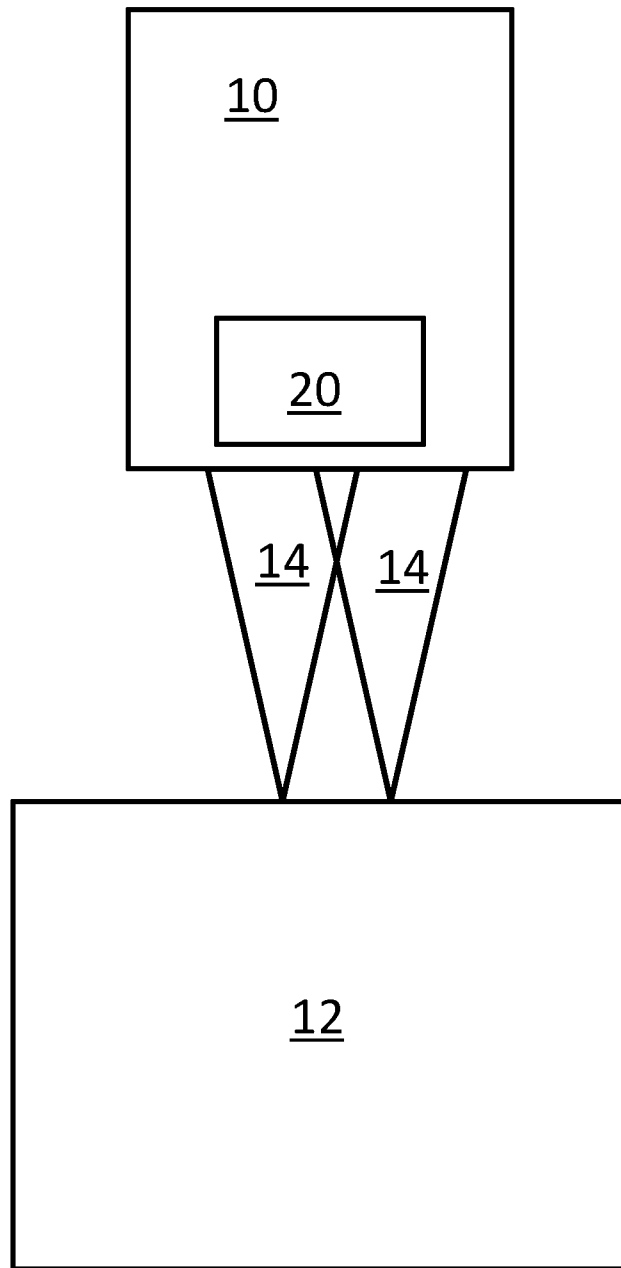


Fig.1

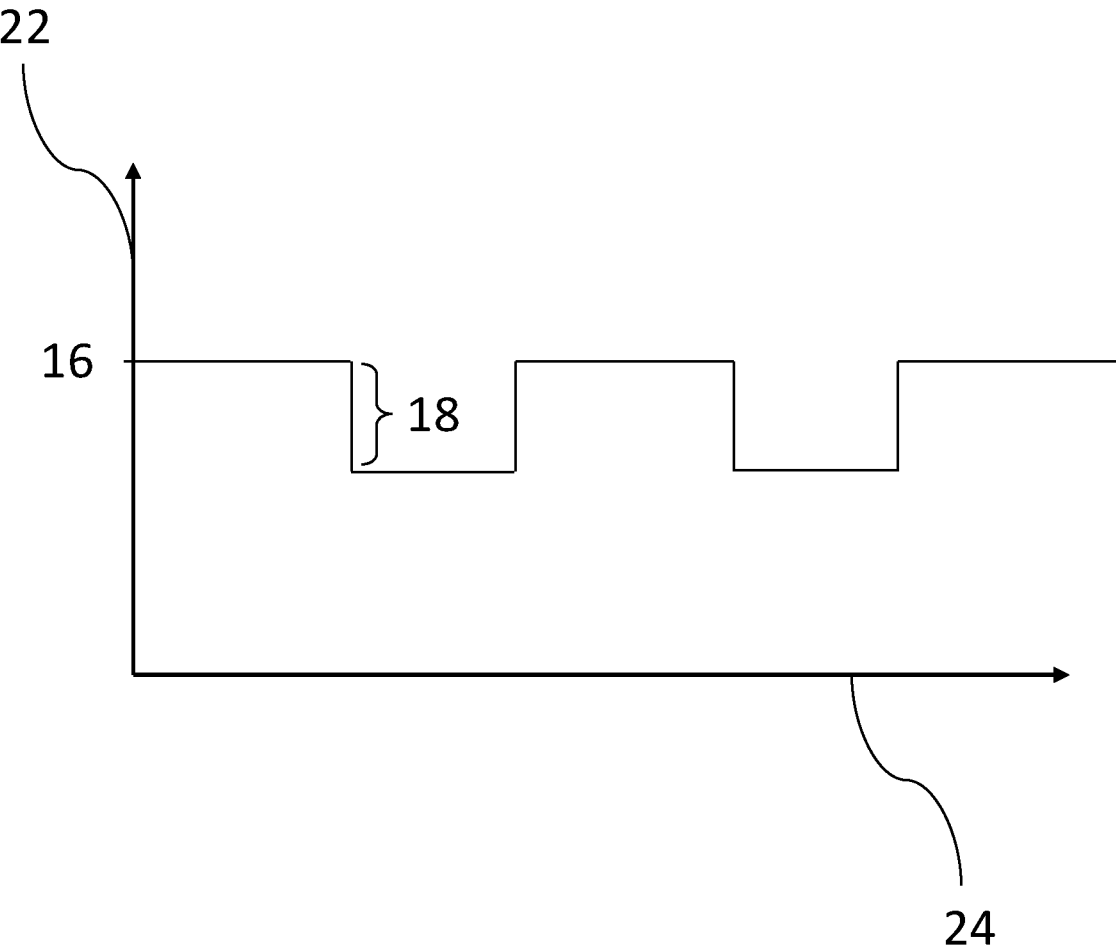


Fig.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/083712**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****B23K 26/06**(2014.01)i; **B23K 26/0622**(2014.01)i; **B23K 26/082**(2014.01)i; **B23K 103/12**(2006.01)n; **B23K 103/10**(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)

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2020251782 A1 (ELECTRO SCIENT IND INC [US]) 17 December 2020 (2020-12-17) page 6, lines 6-10 page 11, lines 1-2, 16-23; figure 31 page 34, lines 25-30	1-12
A	WO 2008052551 A2 (UNIV DANMARKS TEKNISKE [DK]; OLSEN FLEMMING OVE ELHOLM [DK]) 08 May 2008 (2008-05-08) page 2, lines 2-11; figures 1-15 page 3, lines 12-17 page 5, lines 4-8	1-12
A	EP 3924136 B1 (COHERENT INC [US]) 26 April 2023 (2023-04-26) paragraphs [0003], [0004], [0008], [0022]; figures 1A, 1B, 4A	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

07 March 2025

Date of mailing of the international search report

27 March 2025

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

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

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

Authorized officer

Seiderer, Jens

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/083712

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2020251782	A1	17 December 2020	CN	113710407	A	26 November 2021
				CN	119609407	A	14 March 2025
				EP	3938138	A1	19 January 2022
				JP	7543320	B2	02 September 2024
				JP	2022536649	A	18 August 2022
				JP	2024170444	A	10 December 2024
				KR	20220016855	A	10 February 2022
				KR	20250033309	A	07 March 2025
				SG	11202109881X	A	28 October 2021
				TW	202105863	A	01 February 2021
				US	2022168847	A1	02 June 2022
				WO	2020251782	A1	17 December 2020
WO	2008052551	A2	08 May 2008	EP	2081728	A1	29 July 2009
				JP	5384354	B2	08 January 2014
				JP	2010508149	A	18 March 2010
				US	2010044353	A1	25 February 2010
				US	2015224597	A1	13 August 2015
				WO	2008052547	A1	08 May 2008
				WO	2008052551	A2	08 May 2008
EP	3924136	B1	26 April 2023	BR	112021016096	A2	09 November 2021
				CA	3127831	A1	20 August 2020
				CN	113423531	A	21 September 2021
				EP	3924136	A1	22 December 2021
				KR	20210125065	A	15 October 2021
				TW	202037439	A	16 October 2020
				US	2020254562	A1	13 August 2020
				WO	2020167588	A1	20 August 2020

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B23K26/06 B23K26/0622 B23K26/082
ADD. B23K103/12 B23K103/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2020/251782 A1 (ELECTRO SCIENT IND INC [US]) 17. Dezember 2020 (2020-12-17) Seite 6, Zeilen 6-10 Seite 11, Zeilen 1-2, 16-23; Abbildung 31 Seite 34, Zeilen 25-30 -----	1 - 12
A	WO 2008/052551 A2 (UNIV DANMARKS TEKNISKE [DK]; OLSEN FLEMMING OVE ELHOLM [DK]) 8. Mai 2008 (2008-05-08) Seite 2, Zeilen 2-11; Abbildungen 1-15 Seite 3, Zeilen 12-17 Seite 5, Zeilen 4-8 -----	1 - 12
A	EP 3 924 136 B1 (COHERENT INC [US]) 26. April 2023 (2023-04-26) Absätze [0003], [0004], [0008], [0022]; Abbildungen 1A, 1B, 4A -----	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 7. März 2025	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 27/03/2025
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 Seiderer, Jens

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/083712

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2020251782	A1	17-12-2020	CN	113710407 A	26-11-2021
			EP	3938138 A1	19-01-2022
			JP	7543320 B2	02-09-2024
			JP	2022536649 A	18-08-2022
			JP	2024170444 A	10-12-2024
			KR	20220016855 A	10-02-2022
			SG	11202109881X A	28-10-2021
			TW	202105863 A	01-02-2021
			US	2022168847 A1	02-06-2022
			WO	2020251782 A1	17-12-2020
WO 2008052551	A2	08-05-2008	EP	2081728 A1	29-07-2009
			JP	5384354 B2	08-01-2014
			JP	2010508149 A	18-03-2010
			US	2010044353 A1	25-02-2010
			US	2015224597 A1	13-08-2015
			WO	2008052547 A1	08-05-2008
			WO	2008052551 A2	08-05-2008
EP 3924136	B1	26-04-2023	BR	112021016096 A2	09-11-2021
			CA	3127831 A1	20-08-2020
			CN	113423531 A	21-09-2021
			EP	3924136 A1	22-12-2021
			KR	20210125065 A	15-10-2021
			TW	202037439 A	16-10-2020
			US	2020254562 A1	13-08-2020
			WO	2020167588 A1	20-08-2020