

(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
26. Januar 2017 (26.01.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/012898 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02F 1/31 (2006.01) G02F 1/37 (2006.01)
G02F 1/33 (2006.01) B23K 26/00 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/066401

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Juli 2016 (11.07.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 213 468.7 17. Juli 2015 (17.07.2015) DE

(71) Anmelder: TRUMPF LASER GMBH [DE/DE];
Aichhalder Strasse 39, 78713 Schramberg (DE).

(72) Erfinder: STOLZENBURG, Christian; Kampitschstrasse
5, 78628 Rottweil (DE). BAUER, Dominik; Klaißer-
Kasper-Str. 22, 78628 Rottweil (DE).

(74) Anwalt: KOHLER SCHMID MÖBUS
PATENTANWÄLTE

PARTNERSCHAFTSGESELLSCHAFT MBB;
Ruppmannstrasse 27, 70565 Stuttgart (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, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: BEAM MODULATOR WITH FREQUENCY CONVERSION, AND CORRESPONDING METHOD AND LASER
MACHINING MACHINE

(54) Bezeichnung : STRAHLMODULATOR MIT FREQUENZKONVERSION SOWIE ZUGEHÖRIGES VERFAHREN UND
LASERBEARBEITUNGSMASCHINE

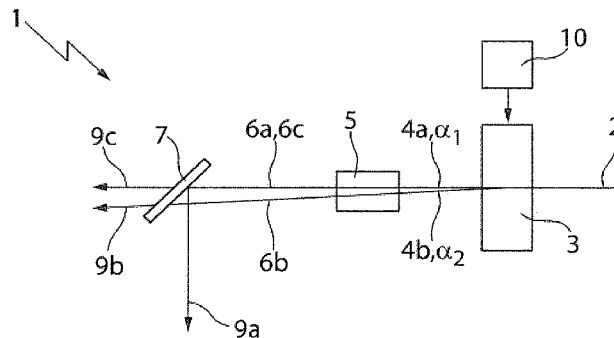


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a beam modulator (1) for modulating the power of a laser beam (2), comprising an actuator (3) that is arranged in the beam path of the incident laser beam (2) and has two actuation states in which the incident laser beam (2) is deflected to different lengths (α_1 , α_2). According to the invention, at least one non-linear crystal (5) is arranged in the beam path of the two laser beams (4a, 4b) deflected to different lengths, said crystal converting the frequency of one of the two laser beams deflected to different lengths with greater efficiency and converting the frequency of the other laser beam with less efficiency. A separator (7) is arranged in the beam path of the laser beam (2) which is frequency-converted with greater efficiency and of the laser beam which is frequency-converted with less efficiency, said separator spatially separating the frequency-converted components and the non-frequency converted components of the laser beams (6a, 6b), wherein one of the two spatially separated laser beams (9a, 9b, 9c) forms the power-modulated output laser beam.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2017/012898 A1

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **Veröffentlicht:**CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, — *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
TG).

Bei einem Strahlmodulator (1) zur Leistungsmodulation eines Laserstrahls (2) mit einer im Strahlengang des einfallenden Laserstrahls (2) angeordneten, ansteuerbaren Ablenkeinrichtung (3), welche zwei Ansteuerzustände aufweist, in denen der einfallende Laserstrahl (2) unterschiedlich weit (α_1 , α_2) abgelenkt ist, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass im Strahlengang der beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen (4a, 4b) mindestens ein nichtlinearer Kristall (5) angeordnet ist, der einen der beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen mit höherer Effizienz und den anderen Laserstrahl mit geringerer Effizienz frequenzkonvertiert, und dass im Strahlengang des mit höherer Effizienz frequenzkonvertierten und des mit geringerer Effizienz frequenzkonvertierten Laserstrahls (6a, 6b) ein Separator (7) angeordnet ist, der die frequenzkonvertierten und die nichtfrequenzkonvertierten Anteile der Laserstrahlen (6a, 6b) voneinander räumlich trennt, wobei einer der beiden räumlich getrennten Laserstrahlen (9a, 9b, 9c) den leistungsmodulierten Ausgangslaserstrahl bildet.

5

10

15

20

**Strahlmodulator mit Frequenzkonversion sowie zugehöriges
Verfahren und Laserbearbeitungsmaschine**

- 25 Die Erfindung betrifft einen Strahlmodulator zur Leistungsmodulation eines Laserstrahls mit einer im Strahlengang des einfallenden Laserstrahls angeordneten, ansteuerbaren Ablenkeinrichtung, welche zwei Ansteuerzustände aufweist, in denen der einfallende Laserstrahl unterschiedlich weit abgelenkt ist, sowie eine zugehörige Laserbearbeitungsmaschine und ein Verfahren zum Leistungsmodulieren
- 30 ren eines Laserstrahls. Mit anderen Worten weist die Ablenkeinrichtung einen ersten Ansteuerzustand, in dem der einfallende Laserstrahl mit einem ersten Winkel abgelenkt ist, und einen zweiten Ansteuerzustand, in dem der einfallende Laserstrahl mit einem unterschiedlichen zweiten Winkel abgelenkt ist, auf.

Bei Lasern, insbesondere bei PulsLasern, ist für viele Anwendungen eine hochdynamische Modulation der Ausgangsleistung des Laserstrahls erforderlich.

5 Solch eine Leistungsmodulation lässt sich mit einer schnellen Ablenkeinrichtung erreichen, die beispielsweise durch einen akusto-optischen Modulator (AOM) oder einen elektro-optischen Deflektor gebildet sein kann. Damit der unmodulierte und der modulierte Laserstrahl voneinander getrennt werden können, sind allerdings große Ablenkwinkel oder ein großer Bauraum erforderlich, was die Auslegung des Strahlmodulators deutlich einschränkt.

10 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Strahlmodulator der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, dass Ablenkeinrichtungen mit geringeren AblenkWinkeln eingesetzt werden können.

15 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass im Strahlengang der beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen mindestens ein nichtlinearer Kristall angeordnet ist, der einen der beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen mit höherer Effizienz und den anderen Laserstrahl mit geringerer Effizienz frequenzkonvertiert, und dass im Strahlengang des mit höherer Effizienz frequenzkonvertierten und des mit geringerer Effizienz frequenzkonvertierten Laserstrahls ein Separator angeordnet ist, der die frequenzkonvertierten und die nicht-frequenzkonvertierten Anteile der Laserstrahlen voneinander räumlich trennt, wobei einer der beiden räumlich getrennten Laserstrahlen den leistungsmodulierten Ausgangslaserstrahl bildet.

25 Im Falle einer elektrisch angesteuerten Ablenkeinrichtung können die beiden Ansteuerzustände der Ablenkeinrichtung beispielsweise realisiert werden durch:

- Anlegen und Nichtanlegen eines elektrischen Ansteuersignals;
- Anlegen von Ansteuersignalen mit unterschiedlicher Leistung;
- Anlegen von Ansteuersignalen mit unterschiedlicher Amplitude;
- 30 - Anlegen von Ansteuersignalen mit unterschiedlicher Frequenz; oder
- Anlegen von Ansteuersignalen mit unterschiedlicher Leistung und unterschiedlicher Frequenz.

Erfindungsgemäß kann in Verbindung mit der nachgeschalteten Frequenzkonversion auf große Ablenkwinkel verzichtet werden. Der Ablenkwinkel eines der beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen muss nur ausreichend groß sein, um den für Frequenzkonversion erforderlichen Winkelakzeptanzbereich des nicht-

5 linearen Kristalls zu verlassen und folglich nicht bzw. mit deutlich reduzierter Effizienz frequenzkonvertiert zu werden. Idealerweise werden der Ablenkwinkel und die Kristalllänge, die den Winkelakzeptanzbereich des Kristalls beeinflusst, so aufeinander angepasst, dass in einem der beiden Ablenkungszustände maximale Frequenzkonversion und im anderen minimale bzw. keine Frequenzkonversion

10 auftritt.

Die Trennung der modulierten von der unmodulierten Strahlung bzw. der frequenzkonvertierten von der nicht-frequenzkonvertierten Strahlung erfolgt dann mittels des Separators. Die Erfindung ermöglicht eine effiziente Leistungsmodu-

15 tion sowie aufgrund des geringen Ablenkwinkels einen geringen Bauraum. Materialien, die sich für die Frequenzkonversion eignen, sind beispielsweise Lithiumniobat, Kaliumdihydrogenphosphat, Beta-Bariumborat oder Lithiumtriborat.

Vorzugsweise treffen die unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen beide

20 jeweils auf den mindestens einen nichtlinearen Kristall auf, so dass in beiden Ansteuerzuständen stets die gleiche Laserleistung auf den nichtlinearen Kristall trifft, der folglich in beiden Ansteuerzuständen eine möglichst gleiche Erwärmung erfährt.

25 Bei besonders bevorzugten Ausführungsformen ist in einem der beiden Ansteuerzustände der Ablenkeinrichtung der einfallende Laserstrahl von der Ablenkeinrichtung mit einem Winkel von 0° abgelenkt, d.h., der einfallende Laserstrahl ist nur in dem anderen Ansteuerzustand abgelenkt.

30 Besonders bevorzugt trifft einer der beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen innerhalb des für Frequenzkonversion erforderlichen Akzeptanzwinkelbereichs des mindestens einen nichtlinearen Kristalls auf den nichtlinearen Kristall, während der andere Laserstrahl außerhalb des Akzeptanzwinkelbereichs auf den nichtlinearen Kristall trifft.

Vorzugsweise ist im Strahlengang der beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen ein nichtlinearer Frequenzverdopplungskristall (SHG (second harmonic generation)-Kristall) zum Erzeugen eines Laserstrahls mit der doppelten

- 5 Frequenz oder eine Kombination mindestens zweier nichtlinearer Kristalle zur Frequenzverdreifachung (THG (third harmonic generation) oder zur noch höheren Frequenzvervielfachung angeordnet.

Bevorzugt ist die Ablenkeinrichtung als ein elektrisch angesteuerter AOM ausgebildet, der beispielsweise nur in einem seiner beiden Ansteuerzustände den einfallenden Laserstrahl ablenkt. Es können kostengünstige AOMs mit geringen Ablenk winkeln eingesetzt werden. Als AOM werden meist LiNbO_3 - oder PbMoO_4 -Kristalle, Glas oder Quarz verwendet.

- 10 Vorzugsweise ist der Separator als dichroitischer Spiegel ausgebildet, der die frequenzkonvertierten und die nicht-frequenzkonvertierten Anteile der Laserstrahlen voneinander räumlich trennt. Anstelle eines dichroitischen Spiegels können auch Spiegel oder andere Strahlteiler oder andere Anordnungen verwendet werden.
- 15 Der Ausgangslaserstrahl kann entweder durch den nicht-frequenzkonvertierten oder durch den frequenzkonvertierten Laserstrahl gebildet sein, wobei im letzteren Fall bei einem Ausfall des AOM kein leistungsmodulierter Ausgangslaserstrahl erzeugt wird. Der Leistungsanteil des Ausgangsstrahls kann dadurch eingestellt werden, in welchem Verhältnis die Eingangsleistung auf die beiden Ablenkzustände aufgeteilt wird. Eine Steuereinheit versorgt die Ablenkeinheit mit entsprechenden Ansteuersignalen. Alternativ kann die Ausgangsleistung auch durch Modulation der Eingangsleistung erfolgen. Bei vielen Anwendungen ist es jedoch vorteilhaft, die Eingangsleistung konstant zu halten und die Leistung in der hier beschriebenen Anordnung zu modulieren.

30

Vorzugsweise weist der Strahlmodulator einen Detektor, der die Leistung mindestens eines der räumlich getrennten Laserstrahlen detektiert, und eine Regeleinheit auf, die anhand der detektierten Laserleistung die Ablenkeinheit ansteuert.

Die Erfindung betrifft auch eine zugehörige Laserbearbeitungsmaschine zum Bearbeiten von Werkstücken mit einem Laserstrahlerzeuger zum Erzeugen des Laserstrahls, mit einem Strahlmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche und mit einer die Ablenkeinrichtung des Strahlmodulators, insbesondere elektrisch, ansteuernden Maschinensteuerung.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zum Leistungsmodulieren eines Laserstrahls, wobei der einfallende Laserstrahl wahlweise unter zwei unterschiedlichen Winkeln abgelenkt wird, wobei die beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen mit unterschiedlicher Effizienz frequenzkonvertiert werden, wobei die frequenzkonvertierten und die nicht-frequenzkonvertierten Anteile der Laserstrahlen voneinander räumlich getrennt werden und wobei einer der beiden räumlich getrennten Laserstrahlen den leistungsmodulierten Ausgangslaserstrahl bildet.

Vorzugsweise wird die Leistung mindestens eines der räumlich getrennten Laserstrahlen detektiert und anhand der detektierten Laserleistung die Ablenkung des einfallenden Laserstrahls gesteuert.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen des Gegenstands der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung, den Ansprüchen und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Es zeigen:

- Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Strahlmodulator mit einem SHG-Kristall zur Frequenzverdopplung der Laserstrahlung;
- Fig. 2 einen erfindungsgemäßen Strahlmodulator mit zwei nichtlinearen Kristallen zur Frequenzverdreifachung der Laserstrahlung;

- Fig. 3 einen erfindungsgemäßen Strahlmodulator mit Leistungsregelung;
und
Fig. 4 eine Laserbearbeitungsmaschine mit dem erfindungsgemäßen
Strahlmodulator.

5

In der folgenden Figurenbeschreibung werden für gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile identische Bezugszeichen verwendet.

Die in **Fig. 1 und 2** gezeigten Strahlmodulatoren **1** dienen zur hochdynamischen Leistungsmodulation eines Laserstrahls **2**.

10

Die Strahlmodulatoren **1** weisen jeweils eine im Strahlengang des einfallenden Laserstrahls **2** angeordnete, z.B. elektrisch ansteuerbare Ablenkeinrichtung **3** auf, welche den einfallenden Laserstrahl **2** in einem elektrisch nicht angesteuerten, ersten Zustand nicht ablenkt (nicht-abgelenkter Laserstrahl **4a** mit Ablenkwinkel $\alpha_1=0^\circ$) und in einem zweiten, elektrisch angesteuerten Zustand ablenkt (abgelenkter Laserstrahl **4b** mit Ablenkwinkel $\alpha_2>0^\circ$). Die Ablenkeinrichtung **3** ist beispielsweise ein elektrisch ansteuerbarer AOM.

15

Im Strahlengang der beiden Laserstrahlen **4a**, **4b** ist ein nichtlinearer SHG-Kristall **5** angeordnet. Der nicht-abgelenkte Laserstrahl **4a** trifft innerhalb des für SHG-Frequenzkonversion erforderlichen SHG-Winkelakzeptanzbereichs des SHG-Kristalls **5**, im gezeigten Ausführungsbeispiel rechtwinklig, auf den SHG-Kristall **5** und wird daher zumindest teilweise auf die doppelte Frequenz konvertiert (frequenzkonvertierter Laserstrahl **6a** und nicht frequenzkonvertierter Strahl **6c**). Der abgelenkte Laserstrahl **4b** trifft hingegen außerhalb des SHG-Winkelakzeptanzbereichs auf den SHG-Kristall **5** und wird daher nicht (bzw. weniger effizient) frequenzkonvertiert (nicht-frequenzkonvertierter Laserstrahl **6b**).

20

25

Im Strahlengang der frequenzkonvertierten und nicht-frequenzkonvertierten Laserstrahlen **6a**, **6b**, **6c** ist ein Separator in Form eines wellenlängen-abhängigen Strahlteilers **7**, z.B. ein dichroitischer Spiegel, angeordnet, der für die Wellenlänge des frequenzkonvertierten Laserstrahls **6a** reflektiv und für die Wellenlänge des nicht-frequenzkonvertierten Laserstrahls **6b**, **6c** transmissiv ist. Der im Strahlen-

30

gang beispielsweise unter einem Winkel von 45° angeordnete Strahlteiler 7 transmittiert den nicht-frequenzkonvertierten Laserstrahl 6b, 6c (transmittierte Laserstrahlen **9b**, **9c**) und lenkt den frequenzkonvertierten Laserstrahl 6a um 90° um (umgelenkter Laserstrahl **9a**). Einer der Laserstrahlen 9a oder 9b/9c wird als leistungsmodulierter Ausgangslaserstrahl des Strahlmodulators 1 genutzt, wohingegen der nicht genutzte andere Laserstrahl in eine Strahlfalle (nicht gezeigt) gelenkt werden kann.

An die Ablenkeinrichtung 3 werden in den beiden Ansteuerzuständen von einer Steuereinheit **10** unterschiedliche elektrische Steuersignale angelegt, um den einfallenden Laserstrahl 2 unterschiedlich weit abzulenken. Durch elektrisches Umschalten (hier binäres Ein- und Ausschalten des elektrischen Steuersignals) zwischen den beiden Ansteuerzuständen der Ablenkeinrichtung 3 kann der Ausgangslaserstrahl entsprechend leistungsmoduliert bzw. die Verhältnisse dieser beiden Zustände eingestellt werden. Durch die Steuereinheit 10 kann zusätzlich eingestellt werden, wie die Leistung des einfallenden Laserstrahls 2 auf den nicht-abgelenkten und den abgelenkten Laserstrahl 4a, 4b aufgeteilt wird.

Da die unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen 4a, 4b beide jeweils auf den nichtlinearen Kristall 5 auftreffen, trifft in beiden Ansteuerzuständen stets die gleiche Laserleistung auf den nichtlinearen Kristall 5, der folglich in beiden Ansteuerzuständen eine möglichst gleiche Erwärmung erfährt.

Alternativ zum wellenabhängigen Strahlteiler 7 kann auch ein anderer Separator zum räumlichen Separieren der beiden Ausgangslaserstrahlen 9a, 9b eingesetzt werden, also z.B. auch Spiegel oder andere Strahlteiler.

Vom Strahlmodulator der Fig. 1 unterscheidet sich der in Fig. 2 gezeigte Strahlmodulator 1 lediglich dadurch, dass hier eine Kombination zweier nichtlinearer Kristalle 5, **5'** zur Frequenzverdreifung eingesetzt ist. Der erste Kristall 5 ist ein SHG-Kristall und erzeugt zumindest teilweise die zweite Harmonische, also eine Frequenzverdopplung. Im zweiten Kristall **5'** werden dann aus der Grundfrequenz (Laserstrahl 6c) und der zweiten Harmonischen (Laserstrahl 6a) in einem Summenfrequenzprozess zumindest teilweise die dritte Harmonische, also eine Fre-

quenzverdreifachung, erzeugt. Der nicht-abgelenkte Laserstrahl 4a trifft auf beide Kristalle 5, 5' jeweils innerhalb der für beide Frequenzkonversionen erforderlichen Winkelakzeptanzbereiche und wird daher zumindest teilweise auf die dreifache Frequenz konvertiert. Dieser auf die dreifache Frequenz konvertierte Laserstrahl ist mit **6d** bezeichnet. Der abgelenkte Laserstrahl 4b trifft hingegen auf mindestens einen der beiden Kristalle 5, 5' außerhalb des Winkelakzeptanzbereichs, wodurch keine bzw. deutlich weniger Leistung frequenzkonvertiert wird. Der Strahlteiler 7 lenkt nur den auf die dreifache Frequenz konvertierten Laserstrahl 6d um 90° um (umgelenkter Laserstrahl 9a) und transmittiert die anderen Laserstrahlen 6a, 6b, 6c (transmittierte Laserstrahlen 9b, 9c).

Da die Laserstrahlen 6a-6c alle jeweils auf den zweiten Kristall 5' auftreffen, trifft in beiden Ansteuerzuständen stets die gleiche Laserleistung auf den zweiten Kristall 5', der folglich in beiden Ansteuerzuständen eine möglichst gleiche Erwärmung erfährt.

Anstelle der gezeigten zwei hintereinander angeordneten Kristalle 5, 5' können auch drei oder mehr mehrere Kristalle hintereinander angeordnet sein. Statt einer Verdreifachung der Wellenlänge sind aber auch andere Konversionsschemata möglich, z.B. zwei hintereinander angeordnete SHG-Kristallen für eine Frequenzvervierfachung.

Der Ablenkwinkel des abgelenkten Laserstrahls 4b kann beispielsweise an das erste Minimum der sinc-Funktion des nichtlinearen Kristalls 5, 5' angepasst sein.

In den Fig. 1 und 2 wird der nicht-abgelenkte Laserstrahl 4a frequenzkonvertiert und, da die gesamte Laserleistung der fundamentalen Wellenlänge zur Verfügung steht, tritt bei der Modulation kein Leistungsverlust auf.

Statt wie in den Fig. 1 und 2 den nicht-abgelenkten Laserstrahl 4a zu konvertieren, kann der nichtlineare Kristall 5, 5' auch so angeordnet sein, dass der abgelenkte Laserstrahl 4b innerhalb der Winkelakzeptanzbereiche der Kristalle 5, 5' auf die Kristalle 5, 5' trifft und daher frequenzkonvertiert wird. Der nicht-abgelenkte Laserstrahl 4a trifft hingegen außerhalb der Winkelakzeptanzbereiche der Kristalle

5, 5' auf die Kristalle 5, 5' und wird daher nicht frequenzkonvertiert. Auch in diesem Fall werden die frequenzkonvertierten und die nicht-frequenzkonvertierten Laserstrahlen mittels des Strahlteilers 7 voneinander räumlich getrennt. In diesem Fall wird also der abgelenkte Laserstrahl 4b frequenzkonvertiert und somit bei Ausfall
5 des AOM 3 keine Leistung konvertiert.

Vom Strahlmodulator der Fig. 1 unterscheidet sich der in **Fig. 3** gezeigte Strahlmodulator 1 lediglich dadurch, dass hier über einen teilreflektiven Spiegel **11** ein Teil des Ausgangslaserstrahls 9a auf einen Detektor/Messaufnehmer **12** gelenkt
10 und in einer Regeleinheit (z.B. Maschinensteuerung) **13** mit einem Leistungssollwert verglichen wird und die Ablenkeinheit 3 bzw. ihre Steuereinheit 10 von der Regeleinheit 13 entsprechend angesteuert/geregt wird. Somit kann man auf konstante Leistung bzw. auf eine vorgegebene Leistung regeln. Alternativ können auch der oder die nicht genutzten Laserstrahlen 9b, 9c gemessen und daraus die
15 Leistung des Ausgangslaserstrahls 9a berechnet und mit einem Sollwert verglichen werden. Allerdings können dabei Änderungen in der Konversionseffizienz der nichtlinearen Kristalle z.B. durch Degradation/Defekte/Temperatur/Dejustage nicht berücksichtigt bzw. kompensiert werden.

20 **Fig. 4** zeigt schematisch eine Laserbearbeitungsmaschine **20** mit einem Laserstrahlerzeuger **21** zum Erzeugen des Laserstrahls 2, mit dem Strahlmodulator 1 und mit einer die Ablenkeinrichtung 3 bzw. ihre Steuereinheit 10 elektrisch ansteuernden Maschinensteuerung **22**. Mittels des Ausgangslaserstrahls 9a können Werkstücke **23** mit der gewünschten Modulation der Laserleistung bearbeitet werden.
25

5

Patentansprüche

10

15

20

25

30

1. Strahlmodulator (1) zur Leistungsmodulation eines Laserstrahls (2),
mit einer im Strahlengang des einfallenden Laserstrahls (2) angeordneten,
ansteuerbaren Ablenkeinrichtung (3), welche zwei Ansteuerzustände
aufweist, in denen der einfallende Laserstrahl (2) unterschiedlich weit (α_1 ,
 α_2) abgelenkt ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Strahlengang der beiden unterschiedlich weit abgelenkten
Laserstrahlen (4a, 4b) mindestens ein nichtlinearer Kristall (5; 5')
angeordnet ist, der einen der beiden unterschiedlich weit abgelenkten
Laserstrahlen mit höherer Effizienz und den anderen Laserstrahl mit
geringerer Effizienz frequenzkonvertiert, und
dass im Strahlengang des mit höherer Effizienz frequenzkonvertierten und
des mit geringerer Effizienz frequenzkonvertierten Laserstrahls (6a, 6b) ein
Separator (7) angeordnet ist, der die frequenzkonvertierten und die nicht-
frequenzkonvertierten Anteile der Laserstrahlen (6a, 6b) voneinander
räumlich trennt, wobei einer der beiden räumlich getrennten Laserstrahlen
(9a, 9b, 9c) den leistungsmodulierten Ausgangslaserstrahl bildet.
2. Strahlmodulator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem
der beiden Ansteuerzustände der Ablenkeinrichtung (3) der einfallende La-
serstrahl (2) von der Ablenkeinrichtung (3) mit einem Winkel (α_1) von 0°
abgelenkt ist.
3. Strahlmodulator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
die unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen (4a, 4b) beide jeweils
auf den mindestens einen nichtlinearen Kristall (5; 5') auftreffen.

4. Strahlmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass einer (4a) der beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen innerhalb des für Frequenzkonversion erforderlichen Akzeptanzwinkelbereichs des mindestens einen nichtlinearen Kristalls (5; 5') auf den nichtlinearen Kristall (5; 5') trifft und der andere Laserstrahl (4b) außerhalb des Akzeptanzwinkelbereichs auf den nichtlinearen Kristall (5; 5') trifft.
5
5. Strahlmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang der beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen (4a, 4b) ein nichtlinearer Frequenzverdopplungskristall (5) oder eine Kombination mindestens zweier nichtlinearer Kristalle (5, 5') zur Frequenzvervielfachung angeordnet ist.
10
6. Strahlmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablenkeinrichtung (3) als ein elektrisch angesteuerter AOM ausgebildet ist.
15
7. Strahlmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Separator (7) als dichroitischer Spiegel ausgebildet ist.
20
8. Strahlmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgangslaserstrahl durch den frequenzkonvertierten Laserstrahl (9a) gebildet ist.
25
9. Strahlmodulator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgangslaserstrahl durch den nicht-frequenzkonvertierten Laserstrahl (9b, 9c) gebildet ist.
30
10. Strahlmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine die Ablenkeinrichtung (3), insbesondere elektrisch, ansteuernde Steuereinheit (10).

11. Strahlmodulator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (10) die Ablenkeinrichtung (3) derart ansteuert, dass der einfallende Laserstrahl (2) in einem einstellbaren Leistungsverhältnis auf den abgelenkten und nicht-abgelenkten Strahl (4a, 4b) aufgeteilt wird.

5

12. Strahlmodulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Detektor (12), der die Leistung mindestens eines der räumlich getrennten Laserstrahlen (9a, 9b, 9c) detektiert, und durch eine Regeleinheit (13), die anhand der detektierten Laserleistung die Ablenkeinrichtung (3) ansteuert.

10

13. Laserbearbeitungsmaschine (20) zum Bearbeiten von Werkstücken (23), mit einem Laserstrahlerzeuger (21) zum Erzeugen des Laserstrahls (2), mit einem Strahlmodulator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche und mit einer die Ablenkeinrichtung (3) des Strahlmodulators (1), insbesondere elektrisch, ansteuernden Maschinensteuerung (13, 22).

15

14. Verfahren zum Leistungsmodulieren eines Laserstrahls (2), wobei der einfallende Laserstrahl (2) wahlweise unter zwei unterschiedlichen Winkeln (α_1 , α_2) abgelenkt wird, wobei die beiden unterschiedlich weit abgelenkten Laserstrahlen (4a, 4b) mit unterschiedlicher Effizienz frequenzkonvertiert werden, wobei die frequenzkonvertierten und die nicht-frequenzkonvertierten Anteile der Laserstrahlen (6a, 6b) voneinander räumlich getrennt werden und wobei einer der beiden räumlich getrennten Laserstrahlen (9a, 9b, 9c) den leistungsmodulierten Ausgangslaserstrahl bildet.

20

25

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung mindestens eines der räumlich getrennten Laserstrahlen (9a, 9b, 9c) detektiert und anhand der detektierten Laserleistung die Ablenkung des einfallenden Laserstrahls (2) gesteuert wird.

30

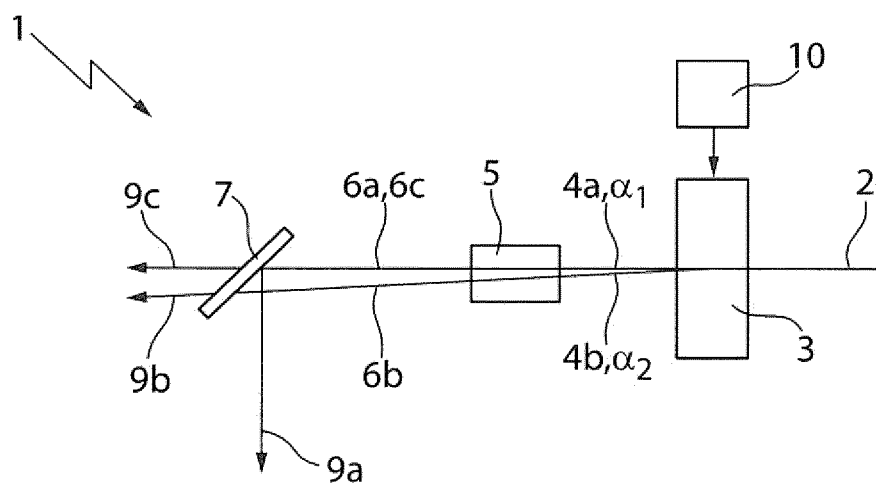


Fig. 1

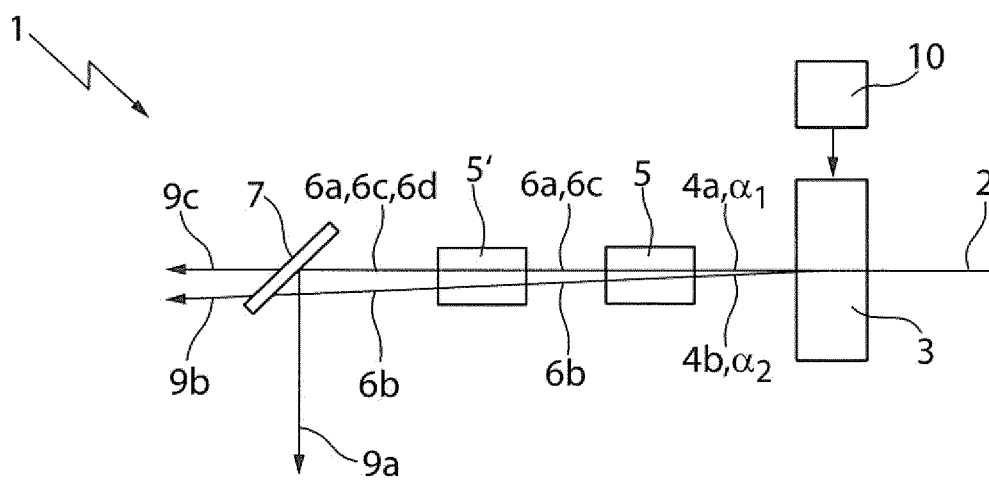


Fig. 2

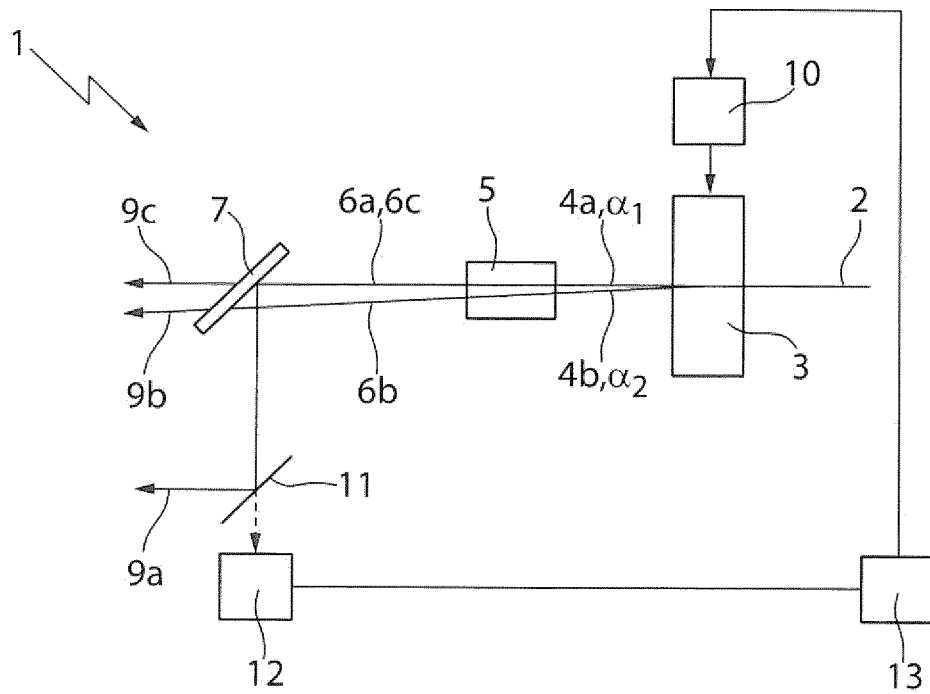


Fig. 3

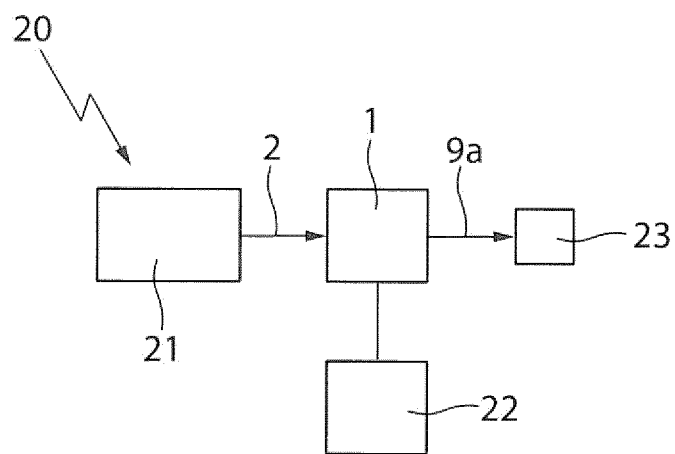


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/066401

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G02F1/31 G02F1/33 G02F1/37 B23K26/00
ADD.

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)

G02F 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.
Y	WO 2014/012847 A1 (TRUMPF LASER GMBH & CO KG [DE]) 23 January 2014 (2014-01-23) page 6, line 31 - page 7, line 15 page 8, line 7 - page 9, line 3 page 10, line 15 - line 23; figures 2,4 -----	1-15
Y	US 2005/270631 A1 (JOHNSON JAY [US]) 8 December 2005 (2005-12-08) paragraphs [0003], [0013], [0014], [0058], [0059], [0066], [0085]; figures 6,16 -----	1-15
A	US 2011/075688 A1 (CHIANG AN-CHUNG [TW] ET AL) 31 March 2011 (2011-03-31) paragraphs [0008] - [0011], [0024], [0028], [0029]; figure 4b ----- -/--	1-3,5, 8-11,14, 15



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

9 September 2016

Date of mailing of the international search report

19/09/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Stang, Ingo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/066401

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2 626 742 A1 (ADVANTEST CORP [JP]) 14 August 2013 (2013-08-14) paragraphs [0010] - [0022]; figure 1 -----	1-4,6,8, 14
A	US 5 909 306 A (GOLDBERG LEW [US] ET AL) 1 June 1999 (1999-06-01) column 5, line 29 - line 62; figure 1 -----	1,2,5,6, 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/066401

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014012847	A1	23-01-2014	CN 204558874 U 12-08-2015
			DE 102012212672 A1 06-02-2014
			WO 2014012847 A1 23-01-2014

US 2005270631	A1	08-12-2005	CN 101035647 A 12-09-2007
			TW I384712 B 01-02-2013
			TW I385882 B 11-02-2013
			TW I395045 B 01-05-2013
			TW I396920 B 21-05-2013
			TW I396921 B 21-05-2013
			TW I396922 B 21-05-2013
			US 2005270629 A1 08-12-2005
			US 2005270630 A1 08-12-2005
			US 2005270631 A1 08-12-2005
			US 2005279807 A1 22-12-2005
			US 2005279808 A1 22-12-2005
			US 2006028710 A1 09-02-2006

US 2011075688	A1	31-03-2011	NONE

EP 2626742	A1	14-08-2013	EP 2626742 A1 14-08-2013
			JP 2013161024 A 19-08-2013
			US 2013202245 A1 08-08-2013

US 5909306	A	01-06-1999	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G02F1/31 G02F1/33 G02F1/37 B23K26/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G02F 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.
Y	WO 2014/012847 A1 (TRUMPF LASER GMBH & CO KG [DE]) 23. Januar 2014 (2014-01-23) Seite 6, Zeile 31 - Seite 7, Zeile 15 Seite 8, Zeile 7 - Seite 9, Zeile 3 Seite 10, Zeile 15 - Zeile 23; Abbildungen 2,4	1-15
Y	----- US 2005/270631 A1 (JOHNSON JAY [US]) 8. Dezember 2005 (2005-12-08) Absätze [0003], [0013], [0014], [0058], [0059], [0066], [0085]; Abbildungen 6,16	1-15
A	----- US 2011/075688 A1 (CHIANG AN-CHUNG [TW] ET AL) 31. März 2011 (2011-03-31) Absätze [0008] - [0011], [0024], [0028], [0029]; Abbildung 4b ----- -/-	1-3,5, 8-11,14, 15
☒ 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
9. September 2016		19/09/2016
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 Stang, Ingo

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 2 626 742 A1 (ADVANTEST CORP [JP]) 14. August 2013 (2013-08-14) Absätze [0010] - [0022]; Abbildung 1 -----	1-4,6,8, 14
A	US 5 909 306 A (GOLDBERG LEW [US] ET AL) 1. Juni 1999 (1999-06-01) Spalte 5, Zeile 29 - Zeile 62; Abbildung 1 -----	1,2,5,6, 14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/066401

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2014012847	A1	23-01-2014	CN	204558874 U	12-08-2015
			DE	102012212672 A1	06-02-2014
			WO	2014012847 A1	23-01-2014

US 2005270631	A1	08-12-2005	CN	101035647 A	12-09-2007
			TW	I384712 B	01-02-2013
			TW	I385882 B	11-02-2013
			TW	I395045 B	01-05-2013
			TW	I396920 B	21-05-2013
			TW	I396921 B	21-05-2013
			TW	I396922 B	21-05-2013
			US	2005270629 A1	08-12-2005
			US	2005270630 A1	08-12-2005
			US	2005270631 A1	08-12-2005
			US	2005279807 A1	22-12-2005
			US	2005279808 A1	22-12-2005
			US	2006028710 A1	09-02-2006

US 2011075688	A1	31-03-2011	KEINE		

EP 2626742	A1	14-08-2013	EP	2626742 A1	14-08-2013
			JP	2013161024 A	19-08-2013
			US	2013202245 A1	08-08-2013

US 5909306	A	01-06-1999	KEINE		
