

(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
17. November 2005 (17.11.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/109044 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G02B 5/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/002692

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. März 2005 (14.03.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 021 745.9 30. April 2004 (30.04.2004) DE
10 2004 022 542.7 5. Mai 2004 (05.05.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **VISION CRYSTAL TECHNOLOGY AG**
[DE/DE]; Lügensteinweg 27, 30890 Göxe (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MÜLLER, Oliver**
[DE/DE]; Ferdinand-Wallbrecht-Str. 14, 30163 Hannover
(DE). **KIRILOV, Todor** [BG/ES]; Avda Cubelles, 28,
E-08800 Vilanova/La Geltrun (ES).

(74) Anwalt: **LEINE & WAGNER**; Burckhardtstrasse 1,
30163 Hannover (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA,
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,
PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

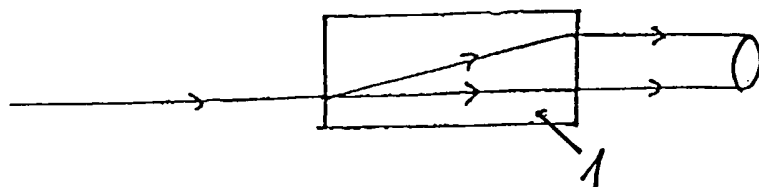
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: USE OF A SOLID BODY FOR CONICAL REFRACTION

(54) Bezeichnung: VERWENDUNG EINES FESTKÖRPERS FÜR DIE KONISCHE REFRAKTION



(57) Abstract: The invention relates
to the use of a solid body for conical
refraction. Said solid body comprises
or even consists of an MDT crystal
and comprises an optically used area
which consists of an MDT crystal.
The invention also relates to a device
for use in conical refraction, which, in
the operational state, is provided with
a solid body which comprises or even

consists of a monoclinic double tungstate crystal and, in an optically used area, consists of a monoclinic double tungstate crystal.

(57) Zusammenfassung: Es wird die Verwendung eines Festkörpers, aufweisend bis bestehend und aus einem optisch benutzten Be-
reich bestehend aus einem MDT-Kristall, für die konische Refraktion bereitgestellt sowie eine Vorrichtung, die im Betriebszustand
mindestens einen Festkörper, aufweisend bis bestehend und in einem optisch benutzten Bereich bestehend aus einem monoklini-
schen-Doppel-Tungstate-Kristall, für die konische Refraktion verwendet.



WO 2005/109044 A1

Verwendung eines Festkörpers für die konische Refraktion

Die Erfindung betrifft die Verwendung eines Festkörpers, insbesondere eines Kristalls, für die konische Refraktion sowie eine Vorrichtung, die im Betriebszustand mindestens einen Festkörper bzw. Kristall für die
5 konische Refraktion verwendet.

Für den im Jahre 1832 entdeckten Effekt der konischen Refraktion in biaxialen Kristallen, also in Kristallen, die in einem Koordinatensystem in drei Richtungen unterschiedliche Brechungsindices aufweisen,
10 existieren bis heute keine bedeutenden Anwendungen, was insbesondere am Nichtvorhandensein geeigneter Kristalle liegt. Im erfindungsgemäßen Kontext bedeutet geeignet, daß die Kristalle einen relativ großen konischen Refraktionswinkel, eine hohe optische Transparenz, eine
15 hohe Stabilität unter Einwirkung von Laserstrahlung, eine dispersionsfreie und optisch nicht-aktive binormale, akzeptable thermo-mechanische Eigenschaften sowie eine chemische Stabilität für das Züchten entsprechender Kristalle aufweisen.

Überraschenderweise konnte nun festgestellt und gezeigt werden, daß Festkörper, die einen sogenannten MDT-Kristall aufweisen oder sogar aus diesem bestehen, in jedem Fall zumindest in einem optisch benutzten Bereich aus diesem bestehen, (MDT-Kristalle sind monoklinische Doppel-Tungstate-Kristalle, also Doppel-Wolfrat-
25

- 2 -

mat-Kristalle) für die konische Refraktion verwendet werden können.

Erfindungsgemäß handelt es sich bei den MDT-Kristallen chemisch um solche der Formel $KLn(WO_4)_2$, wobei
5 Ln dreiwertige Ionen, insbesondere Y, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, La, insbesondere Gadolinium oder Yttrium, darstellt. Insbesondere hat sich KY, also Kalium-Yttrium-Wolframat $[KY(WO_4)_2]$ in der Praxis als ausgesprochen zuverlässig bewährt.

10 Für bestimmte Anwendungen kann es von Vorteil sein, wenn der MDT-Kristall mit mindestens einem Element aus der Gruppe La, Ce, Pr, Pm, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu dotiert ist. Die erfindungsgemäßen Kristalle können mit den hierfür bekannten Methoden
15 gezüchtet werden, wobei insbesondere auf die nachfolgende Literatur hingewiesen wird, insbesondere auf die Kristallzüchtungsschritte in WO 02/061 896.

Für industrielles Züchten sei insbesondere auf die modifizierte Czochralski-Methode verwiesen (siehe Growing Bi-Sb gradient single crystals by a modified
20 Czochralski method, Journal of Crystal Growth, Volume 263, Issues 1-4, Pages 148-155 [1 March 2004] G.N. Kozhemyakin, M.A. Nalivkin, M.A. Rom and P.V. Mateychenko; Solid solution single crystal growth of the
25 aluminium tungstate-scandium tungstate system by a modified CZ method, Journal of Crystal Growth, Volume 208, Issues 1-4, Pages 466-470 [1 January 2000] N. Imanaka, M. Hiraiwa, S. Tamura, G. Adachi, H. Dabkowska and A. Dabkowski; Single-crystal growth of aluminium
30 tungstate solid solution samples by the modified Czochralski method, Journal of Crystal Growth, Volume 200, Issues 1-2, Pages 169-171 [1 April 1999] N. Imanaka, M. Hiraiwa, S. Tamura, G. Adachi, H. Dabkowska and A. Dabkowski; Modified Czochralski growth and characteriza-

- 3 -

tion of RETINb06 crystals, Journal of Crystal Growth, Volume 180, Issue 1, Pages 73-80 [1 September 1997] X. Qi, H.G. Gallagher, T.P.J. Han and B. Henderson). Für kleine Kristallgrößen stehen ähnliche Verfahren zur Verfügung, nämlich das sogenannte Top Seeded Solution Growth-Verfahren, wobei hierfür insbesondere auf Structure, crystal growth and physical anisotropy of $\text{KYb}(\text{WO}_4)_2$, a new laser matrix, Journal of Applied Crystallography, Volume 35, Pages 108-112 (2002) M.C. Pujol, X. Mateos, R. Solé, J. Massons, Jna. Gavalda, X. Solans, f.Diaz, M. Aguilo und Growth, optical characterization, and laser operation of a stoichiometric crystal $\text{KYb}(\text{WO}_4)_2$, Physical Review B, Volume 65, 165121 (2002) M.C. Pujol, M.A. Brusukova, F. Güell, X. Mateos, R.Solé, Jna Gavalda, M. Aguilo, J. Massons, F. Diaz verwiesen wird.

Ein weiterer Kristall, welcher häufig für Experimente und Studien zur konischen Refraktion verwendet wird, ist der α -Jodsäure-Kristall $\alpha\text{-HIO}_3$. Dieser Kristall kann zwar mit großen Abmessungen gezogen werden, ist jedoch hygroskopisch und besitzt darüber hinaus nachteiligerweise eine optische Aktivität, wodurch komplizierte Intensitätsmuster auftreten und Anwendungen nahezu unmöglich werden.

Innerhalb der letzten Jahre gab es auf konischer Refraktion basierende Experimente mit KTiOPO_4 -Kristallen. Um am Austrittsende eines Kristalls einen Lichtring (sogenannter Poggendorff-Ring, der entsteht bei Durchlaufen eines zirkular polarisierten Strahls) mit einem Durchmesser von ca. 1 mm zu erhalten, was bei üblichen Anwendungen dem minimalen akzeptablen Durchmesser entspricht, muß die Kristall-Länge in einem solchen Fall ca 30 mm. betragen, was nahezu der Machbarkeitsgrenze beim Ziehen dieser Kristalle entspricht.

- 4 -

Darüber hinaus leidet die Orientierung der Binormalen unter einer wellenlängenabhängigen und temperaturabhängigen, also unter der sogenannten λ - und T-Dispersion. Doppelt brechende Kristalle besitzen in zwei Richtungen unterschiedliche Brechungsindices und somit eine optische Achse. Die erfindungsgemäßen biaxialen MDT-Kristalle besitzen zwei optische Achsen, da sie in drei Richtungen unterschiedliche Brechungsindices aufweisen.

Unter den biaxialen Kristallen mit großem konischen Refraktionswinkel sind die organischen Kristalle wie Naphtalene und Anthracene zwar bekannt, diese weisen jedoch chemische und thermo-mechanische Eigenschaften auf, die Anwendungen in dieser Richtung unmöglich machen.

Aufgrund ihrer hohen Refraktion (hohe optische Brechkraft) und den ungewöhnlich äquidistanten Brechungsindices besitzen MDT-Kristalle einen großen konischen Refraktionswinkel und sind daher eben für solche Anwendungen sehr gut geeignet.

Die erfindungsgemäßen MDT-Kristalle ermöglichen einen größeren konischen Refraktionswinkel als Aragonit-Kristalle und können darüber hinaus industriell in großen Mengen hergestellt werden. Mit der heutigen Technologie ist es möglich, industriell Kristalle von mehreren Kilogramm mit so hoher Qualität zu züchten, daß sie optimal für Laseranwendungen eingesetzt werden können. Eine Länge von 50 mm und mehr entlang der Binormalen ist in diesem Fall einfach zu erzielen. Die Binormalen-Dispersion ist sehr gering und im visuellen Bereich existiert sogar eine dispersionsfreie Zone. Diese Kristalle besitzen eine hohe chemische Stabilität, gute thermo-mechanische Eigenschaften und eine sehr hohe optische Zerstörschwelle.

Die nachfolgenden Ausgestaltungen sind sehr vor-

- 5 -

teilhaft, da sich diese in der Praxis bewährt haben. So ist es von Vorteil, wenn linear polarisierte elektromagnetische Strahlung verwendet wird, welche durch eine $\lambda/4$ -Platte in zirkular polarisierte elektromagnetische Strahlung umgewandelt wird, bevor sie einen oder mehrere MDT-Kristalle durchläuft, da auf diese Weise die konische Refraktion sehr effektiv realisiert wird.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung liegt vor, wenn ein erfindungsgemäßer Festkörper, insbesondere ein MDT-Kristall, verwendet wird in Funktionsbeziehung zur Umwandlung von Intensitätsprofilen elektromagnetischer Strahlung in andere Intensitätsprofile, beispielsweise und insbesondere einen MDT-Kristall, der orthogonal zur Binormalen orientiert bzw. geschnitten ist, um einen eintreffenden Laserstrahl mit Gauss'scher Intensitätsverteilung in einen Ausgangsstrahl mit anderer Intensitätsverteilung umzuwandeln. Die Binormale (bei der internen konischen Refraktion) wird im sogenannten Index-Ellipsoid dargestellt. Der Index-Ellipsoid repräsentiert n^2 -Werte, wobei n für den Brechungsindex steht. Die Binormale entsteht, wenn der Index-Ellipsoid so durchgeschnitten wird, daß die Schnittfläche einen Kreis ergibt. Bei der externen konischen Refraktion spricht man von der Biradialen. Die Biradiale wird in einem Strahlen-Ellipsoiden beschrieben. Der Strahlen-Ellipsoid ist mathematisch gesehen der Kehrwert des Index-Ellipsoiden und wird durch $1/n^2$ -Werte dargestellt. Die Biradiale ergibt sich, wenn der Strahlen-Ellipsoid so durchgeschnitten wird, daß seine Schnittfläche eine Kreis ergibt. Sowohl die Binormale als auch die Biradiale werden im kristallo-optischen Koordinatensystem dargestellt. Daher spricht man auch von kristallo-optischen Achsen (n_g , n_m , und n_p), wobei die Indices g , m und p für "grand", "median" und "petit" stehen.

- 6 -

Diese Musterstruktur hängt ab vom Verhältnis $\rho = r_0/\varpi$, wobei r_0 der Radius des Poggendorff-Ringes ist, welcher sich durch die interne konische Refraktion an der Kristallaustrittsfläche abbildet, und ϖ der Radius des
5 Eingangsstrahles ist. Zusätzlich hängt die Musterstruktur vom Polarisationszustand des Eingangsstrahles ab. Im Falle eines unpolarisierten Eingangsstrahles können durch Verändern des Verhältnisses ρ (durch Ändern von φ bei konstanter Kristall-Länge) die folgenden Muster
10 realisiert werden, wobei unter 4. und 5. auch polarisiertes Licht verwendet werden kann:

1. Ein nahezu flaches Intensitätsprofil wird bei $\rho \approx 0,5$ erreicht.
2. Ein hohler Lichtzylinder wird erzeugt, wobei unge-
15 fähr gelten muß: $1 \geq \rho \geq 5$.
3. Zwei angrenzende Lichtringe, die durch einen dunklen Poggendorff-Ring getrennt werden, werden erzeugt bei $\rho > 10$.

Wenn der Eingangsstrahl eine zirkuläre Polarisation
20 hat, kann der MDT-Kristall mit den folgenden zwei Optionen arbeiten:

4. Umwandlung eines Gauss-Intensitätsprofils zu einem Bessel-intensitätsprofil und
5. Transformation von J_n nach J_{n+1} , wobei J_n die Bessel-
25 selfunktion erster Art und n -ter Ordnung ist.

Darüber hinaus können Mischformen auftreten, die sowohl J_n - als auch J_{n+1} -Komponenten enthalten.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß zwei Bessel-Arten existieren, welche mit J_n und I_n bezeichnet werden, wobei das n die Ordnung wiedergibt. Dies sind gängige mathematische Ausdrücke, so daß diesbezüglich auf
30 die allgemeine Fachliteratur und auf die Internet-Adressen www.scienceworld.wolfram.com sowie www.mathworld.wolfram.com verwiesen wird.

- 7 -

Für jede der Anwendungen, die auf dem Effekt der internen konischen Refraktion beruhen, ist ein möglichst paralleler Eingangsstrahl mit einem bestimmten oder auch veränderlichen Strahldurchmesser erforderlich. Einen parallelen Eingangsstrahl erreicht man am besten mit einem Laserstrahl. Der Strahldurchmesser wird durch Lochblenden oder auch Linsen reduziert. Beim Benutzen von Linsen ist jedoch darauf zu achten, daß die sogenannte Rayleigh-Länge der fokussierten Strahlung mindestens zweimal so groß wie die Kristall-Länge selbst, da der Strahl im Kristall ansonsten zu divergent wäre.

Ist der Eingangsstrahl kohärent und die Parallelität der Kristallendflächen entspricht den sogenannten Fabri-Perot-Anforderungen (Wenn beispielsweise die Parallelität der Kristallendflächen der Fabri-Perot-Anforderungen genügt, bedeutet dies, daß eine einfallende monochromatische elektromagnetische Welle, die innerhalb des Kristalls an dessen Endflächen hin- und herreflektiert wird, nach jeder Reflexion die gleiche Weglänge im Kristall zurücklegt. Dadurch liegen Intensitätsmaxima- und minima der reflektierten optischen Wellen immer genau übereinander) oder werden diese Anforderungen durch ein externes Fabri-Perot-Interferometer erfüllt, ist eine Ausgangsphasenverteilung durch örtliche Verlagerungen charakterisiert und kann genutzt werden zur Erzeugung von Interferenzmustern mit örtlichen Verlagerungen. Man spricht im allgemeinen von örtlichen Verlagerungen, wenn sich kein gleichmäßiges Interferenzmuster ergibt. Beispiele von gleichmäßigen Interferenzmustern sind sich stetig abwechselnde helle und dunkle Linien oder auch Ringe. Bei örtlichen Verlagerungen würden diese Linien oder Ringe stellenweise abrupt unterbrochen oder auf irgendeine Weise verzerrt.

- 8 -

oder gekrümmt werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung ist es, wenn ein erfindungsgemäßer Festkörper, insbesondere ein MDT-Kristall, verwendet wird in Funktionsbeziehung eines optischen Resonators, beispielsweise und insbesondere in Funktionsbeziehung eines Lasers.

Beispielsweise kann ein MDT-Kristall, der orthogonal zur Binormalen oder Biradialen orientiert bzw. geschnitten ist, als laseraktives Element, wenn dieses laseraktive Ionen wie beispielsweise Nd^{3+} oder Yb^{3+} aufweist, in einem Laser-Resonator fungieren.

Darüber hinaus ist es möglich, daß ein MDT-Kristall auch bzw. darüber hinaus sowohl als laseraktives Element innerhalb als auch als passives (d. h. nicht zur Erzeugung von Laser-Strahlung geeignet) Element innerhalb eines Laser-Resonators plaziert werden kann. Weiterhin ist es eine vorteilhafte Ausgestaltung, wenn ein MDT-Kristall verwendet wird in Funktionsbeziehung eines Depolarisators, beispielsweise und insbesondere dahingehend, wenn der Depolarisator, der polarisierte elektromagnetische Strahlung in nicht-polarisierte elektromagnetische Strahlung umwandelt, daß ein MDT-Kristall verwendet wird in Funktionsbeziehung eines Strahlen-Filamentors, d.h. einer Vorrichtung, die sogenannte interne und externe konische Refraktion ausnutzt. Eine interne konische Refraktion tritt auf, wenn zirkular polarisierte oder unpolarisierte elektromagnetische Strahlung mit kleinem Strahldurchmesser und parallelem Strahlverlauf auf solch eine Weise auf einen MDT-Kristall trifft, daß sie parallel zur Binormalen des Kristalls orientiert ist. In diesem Fall werden die verschiedenen Polarisationsanteile der Strahlung beim Durchlaufen des Kristalls auf definierte Weise umgelenkt, so daß jeder Polarisationsanteil mit bestimmter

- 9 -

Polarisation zu einem bestimmten Punkt der Kristall-
Endfläche hingeführt wird. Auf diese Weise entsteht auf
der Kristall-Endfläche (das heißt die Fläche, an der
die elektromagnetische Strahlung austritt) ein Licht-
ring, genau genommen zwei dicht aneinandergrenzende
5 Lichtringe (deren Zwischenraum der sogenannte Poggen-
dorff-Ring (dunkel) ist)), der sich danach als Licht-
zylinder weiter in der Luft ausbreitet.
Eine externe konische Refraktion tritt auf, wenn zirku-
lar polarisierte oder unpolarisierte elektromagnetische
10 Strahlung, welche parallel zur Biradialen des MDT-Kri-
stalls orientiert ist, auf die Eintrittsfläche des Kri-
stalls fokussiert wird. Unter einem bestimmten Fokus-
winkel oder Konuswinkel wird die Eingangsstrahlung so
15 in den Kristall eingekoppelt, daß nahezu die gesamte
Intensität als fadenförmige Linie (quasi als Strahl)
auf der Biradialen des Kristalls entlangläuft und erst
beim Verlassen des Kristalls wieder divergent wird. Der
Konuswinkel, unter dem die Strahlung nach Verlassen des
20 Kristalls wieder auseinanderläuft, entspricht dem Ko-
nuswinkel der auf die Kristalleintrittsfläche fokus-
sierten Strahlung.
Dabei hat es sich in der Praxis als vorteilhaft her-
ausgestellt, wenn entweder der Depolarisator mindestens
25 eine $\lambda/4$ - (zur Definition: siehe "Optik", Eugene Hecht,
1994, S.: 318 - 321) oder $\lambda/2$ -Platte vor dem MDT-Kri-
stall aufweist bzw. der Depolarisator neben dem MDT-
Kristall einen um die Strahlungsachse um 180° rotierten
und direkt an den ersten MDT-Kristall angrenzenden und
30 diesen berührenden weiteren MDT-Kristall aufweist.

Die Kombination eines MDT-Kristalls und einer $\lambda/4$ -
Platte sorgt dafür, daß eine lineare Polarisation in
zirkulare Polarisation umgewandelt wird, so daß auf
diese Weise ein Depolarisator mit hochgenauer gleich-

- 10 -

mäßiger Verteilung aller Polarisationszustände bereitgestellt werden kann.

Der Nachteil dieses Polarisators ist, daß die Phasenplatte in einer bestimmten Richtung relativ zur Polarisations-
5 ebene des Eingangsstrahles orientiert sein muß, so daß durch den substituierenden zweiten anliegenden Kristall, der um 180° um die Binormale (Strahlungsachse) rotiert ist und auf diese Weise ein hinsichtlich der Orientierung dieser Platte unempfindlicher Depolarisator bereitgestellt wird.
10

Passiert ein zirkular polarisierter Laserstrahl einen Kristall entlang der Binormalen, werden die durch die interne konische Refraktion erzeugten Lichtringe und der damit verbundene hohle Lichtzylinder vor dem
15 zweiten Kristall mittels einer Linse fokussiert, welcher in Richtung der Biradialen orientiert ist.

Wird der zweite Kristall relativ zum ersten Kristall um 180° um die Strahlachse rotiert und der Ausbreitungswinkel des fokussierten Strahles ist ca. zweimal so groß wie der aus der internen konischen Refraktion resultierende interne Konuswinkel, wird nahezu
20 100 % der eingekoppelten Intensität beim Durchlaufen des zweiten Kristalls der Durchmesser des Fokuspunktes unverändert beibehalten, was auf der externen konischen Refraktion beruht. Im Erfindungskontext wird von einem
25 sogenannten Strahlen-Filamentor gesprochen, so daß es eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung ist, wenn ein MDT-Kristall verwendet wird in Funktionsbeziehung eines solchen Strahlen-Filamentors.

30 Die Eigenschaft dieses Strahlen-Filamentors unterscheidet sich vom selbstfokussierenden Strahlen-Filamentor, welcher auf induzierten x^3 -Nichtlinearitäten beruht. Durch eine hohe optische Eingangsleistung im Kristall verändert sich der Brechungsindex, so daß der

- 11 -

Strahl fokussiert wird. Durch diese "Selbstfokussierung" entsteht eine höhere Energiedichte, wodurch sich der Brechungsindex erneut ändert und der Strahl weiter erneut fokussiert wird. Dieser Prozeß setzt sich entlang des gesamten Kristalls fort, so daß hierdurch ebenfalls ein fadenförmiger Strahlenverlauf im Kristall stattfindet. Letzteres erfordert jedoch Laserimpulse hoher Intensität und findet nahezu an der optischen Zerstörschwelle des Kristalls statt. Die Performance des erfindungsgemäß erwähnten Strahlen-Filamentors ist nicht intensitätsabhängig und somit können auch Laserstrahlenquellen niedriger Leistung für die daraus resultierende Applikation verwendet werden.

Im Falle eines Gauss-förmigen Eingangsstrahls wird die Dispersion innerhalb des Strahlen-Filamentors auf die natürliche Divergenz eines Gauss-Strahls begrenzt sein. Verwendet man einen geeigneten gekrümmten hochreflektierenden Spiegel, wodurch an der Austrittsfläche des Kristalls der Strahl entlang seiner Biradialen zurückreflektiert wird, ist ein zweiter Kristall nicht mehr erforderlich.

Schließlich ist es von Vorteil, wenn ein MDT-Kristall verwendet wird in Funktionsbeziehung einer optischen Pinzette. Erfindungsgemäß wird unter einer optischen Pinzette eine Vorrichtung verstanden, die die oben genannten Poggendorff-Ringe erzeugt, so daß kleinste Teilchen und Moleküle durch die im Lichtzylinder wirkenden elektromagnetischen Dipol-Kräfte "fixiert" und somit durch eine Lageveränderung des Lichtzylinders befördert werden können.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Beispiele erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 - eine Funktionsskizze hinsichtlich der

- 12 -

- internen konischen Refraktion,
- Fig. 2 - eine Funktionsskizze hinsichtlich der externen Refraktion,
- Fig. 3 - eine Funktionsskizze hinsichtlich einer Ausführungsform betreffend Anspruch 3 und 4,
- Fig. 4 - eine Funktionsskizze hinsichtlich einer Ausführungsform betreffend Anspruch 5,
- Fig. 5 - eine Funktionsskizze hinsichtlich einer Ausführungsform betreffend Anspruch 6,
- Fig. 6 - eine Funktionsskizze hinsichtlich einer Ausführungsform gemäß Anspruch 10,
- Fig. 7 - eine funktionsmäßige Skizze hinsichtlich einer Ausführungsform gemäß Anspruch 13,
- Fig. 8 - eine Funktionsskizze zur Veranschaulichung von Biradialen und Binormalen in einem MDT-Kristall.

In Fig. 1 ist ein unpolarisierter Lichtstrahl zu erkennen, der bei Durchlaufen eines MDT-Kristalles 1 durch die interne konische Refraktion in einen Licht-hohlkegel aufgeteilt wird, der beim Austreten dann zu einem Lichthohlzylinder führt.

In Fig. 2 ist der Querschnitt eines unpolarisier-ten Lichtstrahls dargestellt, der bei Durchlaufen einer Linse 2 gebündelt wird und über eine Blende 3 auf die Kristall-Eintrittsfläche des MDT-Kristalles 1 eintrifft und dann durch die externe konische Refraktion - wie oben erläutert - als Strahlenfilament den Kri-stall durchläuft, um beim Austreten wieder auseinander-zudivergieren.

In Fig. 3 trifft ein linear polarisierter Licht-strahl auf eine $\lambda/4$ -Platte 4, wird daher in eine zirku-lar polarisierte elektromagnetische Strahlung umgewan-

- 13 -

delt, trifft auf die Kristall-Eintrittsfläche des MDT-Kristalles 1, durchläuft diesen und wird aufgrund der internen konischen Refraktion aufgeteilt, wobei diese Strahlen nach Austreten einen Lichthohlzylinder bilden, so daß der ordentliche und somit nicht abgelenkte Lichtstrahl und der maximal abgelenkte, nämlich der sogenannte außerordentliche Strahl, im Querschnitt gesehen, eine Fläche aufspannen, wobei die Polarisationsvektoren dieser beiden Strahlen orthogonal zueinander stehen und durch eine Linse 2 wiederum auf eine zweite Kristall-Eintrittsfläche eines weiteren MDT-Kristalles 1' fokussiert werden, wobei diese dann im zweiten Kristall aufgrund der externen konischen Refraktion diese als geschlossenes Strahlenfilament durchlaufen, um nach Austreten wieder auseinanderzulaufen (divergieren).

Der in Fig. 4 dargestellte Laser-Resonator weist im wesentlichen einen hochreflektierenden Spiegel 5, einen beliebigen Laser-Kristall 6, einen MDT-Kristall 1 sowie Auskoppelspiegel 7 auf, so daß ein Teil der Laserstrahlung hindurchtreten kann, um diese einer Applikation zuzuführen.

In Fig. 5 ist ein zu Fig. 4 ähnlicher Aufbau dargestellt, wobei dieser sich dahingehend unterscheidet, daß in Fig. 4 der MDT-Kristall als passives Element ausgestaltet ist, während in diesem Fall der MDT-Kristall 1 als laseraktives Element ausgestaltet ist, beispielsweise durch entsprechend maßgeschneiderte Dotierung, wobei die im Laser-Resonator vorhandene Strahlung durch einen Auskoppelspiegel 7 einer entsprechenden Applikation zugeführt werden kann (die Ziffer 6 bezeichnet einen hochreflektierenden Spiegel).

In Fig. 6 sind zwei MDT-Kristalle 1 und 1' dargestellt, die direkt aufeinandertreffen, wobei der eine MDT-Kristall gegenüber dem anderen um die Strahlenachse

- 14 -

um 180° rotiert worden ist (gedreht worden ist), so daß die Binormalen beider Kristalle auf der Strahlenachse liegen und somit eine polarisierte oder teilweise polarisierte Strahlung beim Durchlaufen beider MDT-Kristalle zu einer depolarisierten Strahlung umgewandelt wird.

In Fig. 7 ist ein MDT-Kristall 1 dargestellt, bei dem ein Lichtstrahl durch diesen läuft, wobei aufgrund der internen konischen Refraktion der Eingangsstrahl aufgeteilt wird, so daß dessen einzelne Polarisationszustände in definierte Richtungen abgelenkt werden und der ordentliche Strahl und somit nicht abgelenkte Anteil und der der maximal abgelenkte Anteil des Eingangsstrahls, nämlich der sogenannte außerordentliche Strahl, im Querschnitt gesehen, eine Fläche aufspannen, wobei die Polarisationsvektoren dieser beiden Strahlen orthogonal zueinander stehen und beim Austreten entsprechend weiterlaufen, um auf einen Spiegel (Hohlspiegel) 8 zu treffen, diese auf die Kristall-Eintrittsfläche 9 treffen, so daß diese eine externe konische Refraktion durchlaufen.

Schließlich ist in Fig. 8 nochmals die Beziehung zwischen Biradialen (BR) und Binormalen (BN) dargestellt, wobei die BN sich nur geringfügig von der BR unterscheidet. Beide Achsen liegen in etwa um 45° zur n_p bzw. n_g -Achse, wobei sich die Lage der Binormalen (für die interne konische Refraktion) ca. 1 bis 2° von der Lage der Biradialen (für die externe konische Refraktion) unterscheidet.

30

Patentansprüche

5

1. Verwendung eines Festkörpers, aufweisend bis bestehend und aus einem optisch benutzten Bereich bestehend aus einem MDT-Kristall, für die konische Refraktion.

10

2. Verwendung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß linear polarisierte elektromagnetische Strahlung verwendet wird, welche durch eine $\lambda/4$ -Platte in zirkular polarisierte elektromagnetische Strahlung umgewandelt wird, bevor sie einen oder mehrere MDT-Kristalle durchläuft.

15

3. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in Funktionsbeziehung zur Umwandlung von Intensitätsprofilen elektromagnetischer Strahlung in andere Intensitätsprofile.

20

4. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in Funktionsbeziehung zur Umwandlung von Gauss-Intensitätsprofilen elektromagnetischer Strahlung in Bessel-Intensitätsprofile elektromagnetischer Strahlung oder einer Mischform aus Bessel- und Gauss-Intensitätsprofilen elektromagnetischer Strahlung.

25

30

5. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in Funktionsbeziehung eines optischen Resonators.

- 16 -

6. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in Funktionsbeziehung eines Lasers.
- 5 7. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper als passives oder aktives Element verwendet wird in Funktionsbeziehung innerhalb eines Laser-Resonators.
- 10 8. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in Funktionsbeziehung eines Depolarisators.
- 15 9. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in Funktionsbeziehung eines Strahlenfilamentors.
- 20 10. Verwendung nach einem der Ansprüche 8 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Depolarisator mindestens eine $\lambda/4$ -Platte in Strahlungsrichtung vor dem optisch benutzten Bereich aufweist.
- 25 11. Verwendung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Depolarisator neben dem Festkörper einen um die Strahlenachse um 180° gedrehten, weiteren Festkörper aufweist, wobei mittels einer Linse die resultierende elektromagnetische Strahlung auf die eintretende Oberfläche des nachfolgenden weiteren Festkörpers fokussiert wird.
- 30 12. Verwendung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Depolarisator neben dem Festkörper einen um die Strahlenachse um 180° gedrehten und direkt an den ersten Festkörper fixierten weiteren

- 17 -

Festkörper aufweist, wobei die Binormalen der Festkörper auf der Strahlenachse liegen.

13. Verwendung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Depolarisator hinter dem Festkörper einen gekrümmten Spiegel aufweist, so daß die elektromagnetische Strahlung in den Festkörper zurückreflektiert wird.
14. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in Funktionsbeziehung einer optischen Pinzette.
15. Verwendung nach Anspruch 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß es sich bei dem Festkörper oder MDT-Kristall um Kalium-Yttrium-Wolframat handelt.
16. Verwendung nach Anspruch 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper oder der MDT-Kristall mit mindestens einem Element aus der Gruppe Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, La, Ce, Pr, Pm, Nd dotiert ist.
17. Vorrichtung, die im Betriebszustand mindestens einen Festkörper, aufweisend bis bestehend und in einem optisch benutzten Bereich bestehend aus einem MDT-Kristall, für die konische Refraktion verwendet.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß linear polarisierte elektromagnetische Strahlung verwendet wird, welche durch eine $\lambda/4$ -Platte in zirkular polarisierte elektromagnetische Strahlung umgewandelt wird, bevor sie einen oder mehrere MDT-Kristalle durchläuft.

- 18 -

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 18,
dadurch gekennzeichnet, daß der Festkörper verwendet
wird in Funktionsbeziehung zur Umwandlung von Intensi-
tätsprofilen elektromagnetischer Strahlung in andere
5 Intensitätsprofile.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19,
dadurch gekennzeichnet, daß der Festkörper verwendet
wird in Funktionsbeziehung zur Umwandlung von Gauss-
10 Intensitätsprofilen elektromagnetischer Strahlung in
Bessel-Intensitätsprofile elektromagnetischer Strahlung
oder einer Mischform aus Bessel- und Gauss-Intensitäts-
profilen elektromagnetischer Strahlung.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 20,
dadurch gekennzeichnet, daß der Festkörper verwendet
wird in Funktionsbeziehung eines optischen Resonators.

22. Vorrichtung nach Anspruch 17 bis 21, **dadurch ge-
kennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in
20 Funktionsbeziehung eines Lasers.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 22,
dadurch gekennzeichnet, daß der Festkörper als passives
25 oder aktives Element verwendet wird in Funktionsbezie-
hung innerhalb eines Laserresonators.

24. Vorrichtung nach Anspruch 17 bis 23, **dadurch ge-
kennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in
30 Funktionsbeziehung eines Depolarisators.

25. Vorrichtung nach Anspruch 17 bis 24, **dadurch ge-
kennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in
Funktionsbeziehung eines Strahlenfilamentors.

- 19 -

26. Vorrichtung nach Anspruch 24 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Depolarisator mindestens eine $\lambda/4$ -Platte in Strahlungsrichtung vor dem optisch benutzten Bereich aufweist.

5

27. Vorrichtung nach Anspruch 24 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Depolarisator neben dem Festkörper einen entlang der Strahlenachse um 180° gedrehten, weiteren Festkörper aufweist, wobei mittels einer Linse die resultierende elektromagnetische Strahlung auf die eintretende Oberfläche des nachfolgenden weiteren Festkörpers fokussiert wird.

10

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Depolarisator neben dem Festkörper einen um die Strahlenachse um 180° gedrehten und direkt an den ersten Festkörper fixierten weiteren Festkörper aufweist, wobei die Binormalen der Festkörper auf der Strahlenachse liegen.

15

20

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Depolarisator hinter dem Festkörper einen gekrümmten Spiegel aufweist, so daß die elektromagnetische Strahlung in den Festkörper zurückreflektiert wird.

25

30. Vorrichtung nach Anspruch 17 bis 29, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper verwendet wird in Funktionsbeziehung einer optischen Pinzette.

30

31. Vorrichtung nach Anspruch 17 bis 30, **dadurch gekennzeichnet**, daß es sich bei dem Festkörper oder MDT-Kristall um Kalium-Yttrium-Wolframat handelt.

- 20 -

32. Vorrichtung nach Anspruch 17 bis 31, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Festkörper oder der MDT-Kristall mit mindestens einem Element aus der Gruppe Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, La, Ce, Pr, Pm, Nd dotiert ist.

5

33. Vorrichtung nach Anspruch 17 bis 32, **dadurch gekennzeichnet**, daß es sich bei der Vorrichtung um eine aus der Gruppe Laser, Depolarisator, Strahlenfilamentor, optische Pinzette handelt.

10

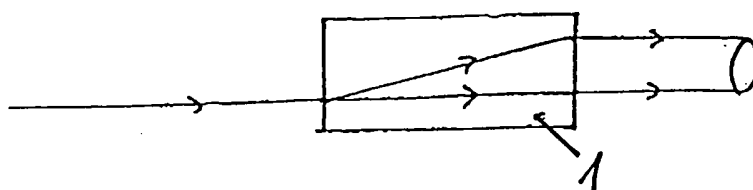


Fig. 1

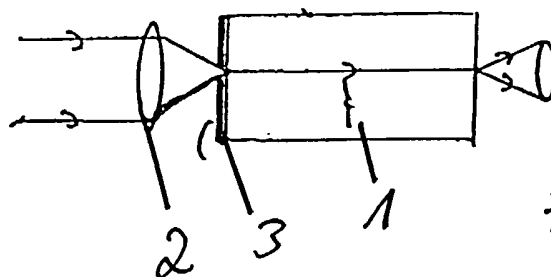
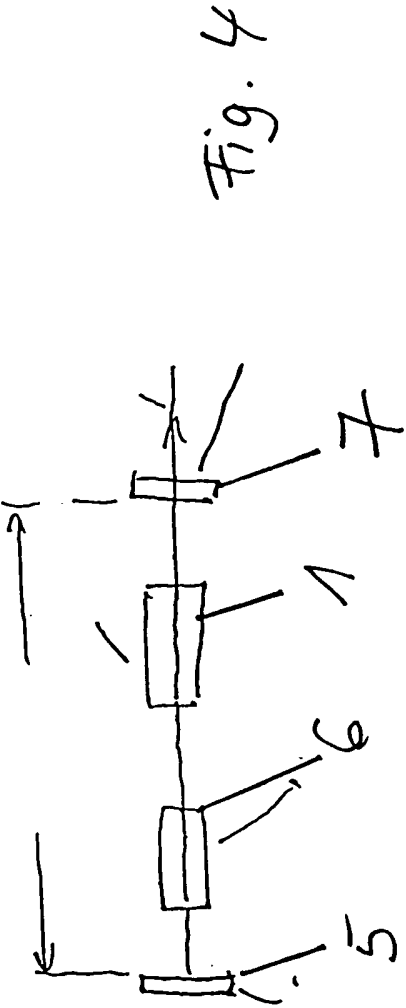
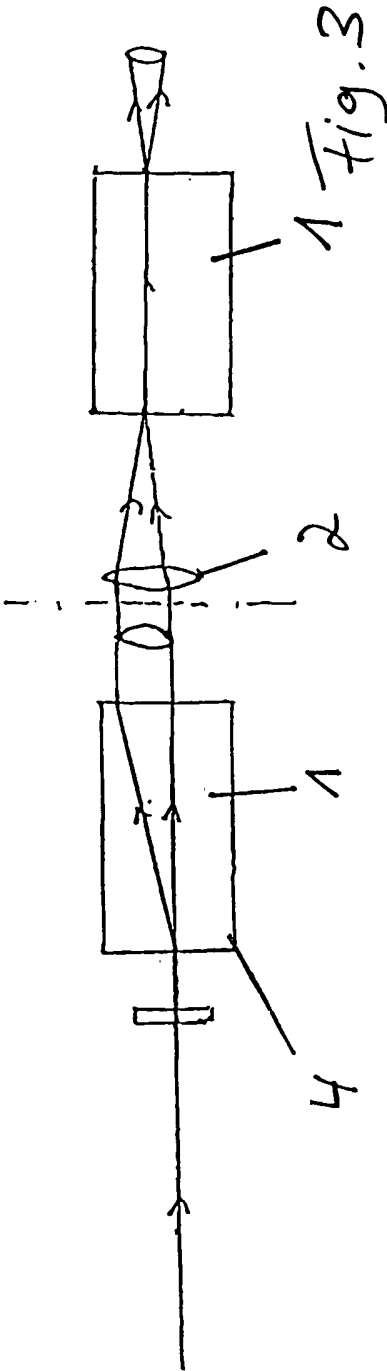
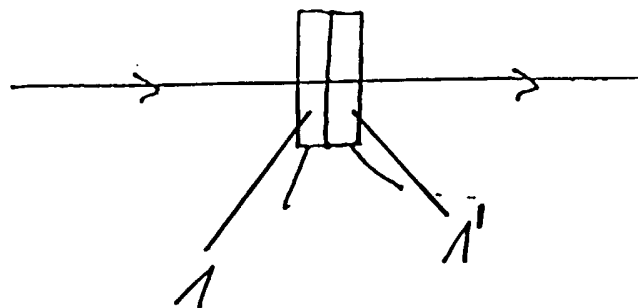


Fig. 2





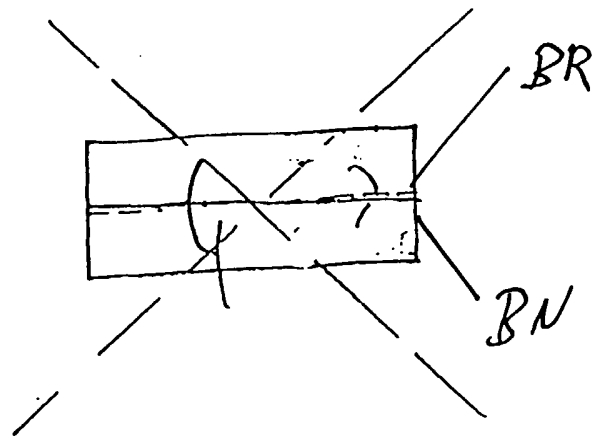


Fig. 8

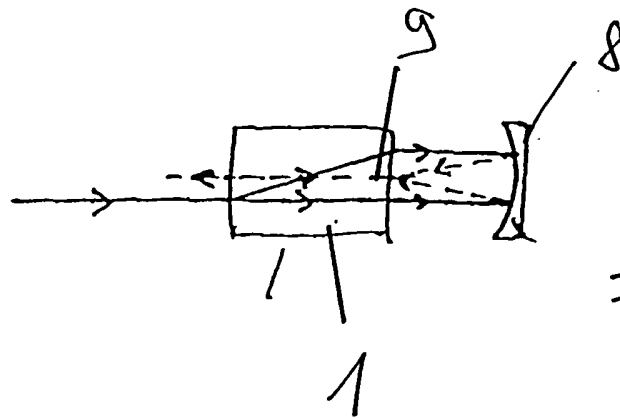


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No
 PCT/EP2005/002692

 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 G02B5/00

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)
 IPC 7 G02B

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 practical, 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.
A	I.NIKOLOV ET AL: "Crystal growth of pure and Cr ³⁺ doped NaAl(WO ₄) ₂ " JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, vol. 254, no. 1-2, June 2003 (2003-06), pages 107-114, XP002336575 the whole document	1-33
A	A.M.BELSKY ET AL: "Internal conical refraction of light beams in biaxial gyrotropic crystals" OPTICS COMMUNICATIONS, vol. 204, 1 April 2002 (2002-04-01), pages 1-6, XP002336576 the whole document	1-33
	----- -/-- -----	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☐ Patent family members are listed in 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 document 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.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 July 2005

Date of mailing of the international search report

11/08/2005

Name and mailing address of the ISA

 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Thieme, W

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/002692

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	J.P.FEVE ET AL: "Experimental study of internal and external conical refractions in KTP" OPTICS COMMUNICATIONS, vol. 105, 15 January 1994 (1994-01-15), pages 243-252, XP002336577 the whole document -----	1-33

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 7 G02B5/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G02B

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.
A	I.NIKOLOV ET AL: "Crystal growth of pure and Cr ³⁺ doped NaAl(WO ₄) ₂ " JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, Bd. 254, Nr. 1-2, Juni 2003 (2003-06), Seiten 107-114, XP002336575 das ganze Dokument	1-33
A	A.M.BELSKY ET AL: "Internal conical refraction of light beams in biaxial gyrotropic crystals" OPTICS COMMUNICATIONS, Bd. 204, 1. April 2002 (2002-04-01), Seiten 1-6, XP002336576 das ganze Dokument	1-33

-/--

☒ 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 älteres Dokument, 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 anderen 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

19. Juli 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/08/2005

 Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Thieme, W

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	J.P.FEVE ET AL: "Experimental study of internal and external conical refractions in KTP" OPTICS COMMUNICATIONS, Bd. 105, 15. Januar 1994 (1994-01-15), Seiten 243-252, XP002336577 das ganze Dokument -----	1-33