

(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
07. Dezember 2017 (07.12.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/207331 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 21/00 (2006.01) *G02B 5/20* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/062331

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. Mai 2017 (23.05.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 209 524.2
01. Juni 2016 (01.06.2016) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH**
[DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

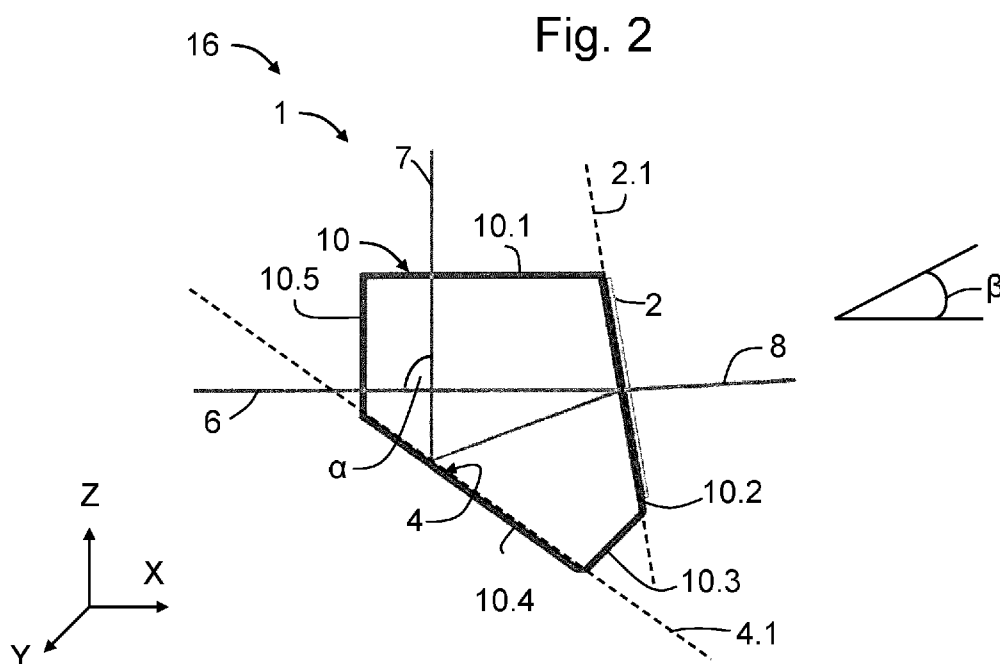
(72) Erfinder: **WALD, Matthias**; Hinter dem Spielberge 1,
07751 Jena (DE). **HUHSE, Dieter**; Stindestraße 27, 12167
Berlin (DE).

(74) Anwalt: **LORITZ, Rainer**; Carl Zeiss AG, Patentabtei-
lung, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (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, DJ, 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, KH, KN, KP,
KR, KW, 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.

(54) Title: GRADUATED FILTER ASSEMBLY

(54) Bezeichnung: VERLAUFSFILTERANORDNUNG



(57) Abstract: The invention relates to a graduated filter assembly (1), comprising a graduated filter (2), which can be displaced relative to a beam path and which is provided in a target filter plane, and a mirror (4) in a mirror plane (4.1). According to the invention, the mirror plane (4.1) and the target filter plane are oriented fixedly relative to each other in such a way that a bundle of light beams (6) incident at an angle of incidence along the beam path is at least partially reflected between the graduated filter (2) and the mirror (4) such that at least a double deflection of the incident light beam (6) by the graduated filter assembly (1) occurs and the reflected light beam (7) is reflected from the graduated filter assembly (1) as a bundle of reflected light beams (7) at a deflection angle (α), wherein the optical effect of a present angular error between the target filter plane and an actual filter plane (2.1) given by the current position of the main plane of the graduated filter (2) is reduced as a result of the at least double deflection and the deflection angle



(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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

(a) remains constant. The invention further relates to optical assemblies (16) comprising the graduated filter assembly (1) and to uses of the graduated filter assembly (1).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Verlaufsfilteranordnung (1) umfassend einen bezüglich eines Strahlengangs ortsveränderlichen Verlaufsfilter (2), der in einer Soll-Filterebene vorgesehen ist, und einen Spiegel (4) in einer Spiegelebene (4.1). Erfindungsgemäß sind die Spiegelebene (4.1) und die Soll-Filterebene zueinander fest und relativ so zueinander ausgerichtet, dass ein unter einem Einfallswinkel entlang des Strahlengangs einfallendes Bündel von Lichtstrahlen (6) mindestens anteilig zwischen dem Verlaufsfilter (2) und dem Spiegel (4) reflektiert ist, sodass es mindestens zu einer zweifachen Umlenkung des einfallenden Lichtstrahls (6) durch die Verlaufsfilteranordnung (1) kommt und der reflektierte Lichtstrahl (7) als ein Bündel reflektierter Lichtstrahlen (7) unter einem Ablenkwinkel (a) aus der Verlaufsfilteranordnung (1) reflektiert ist, wobei die optische Wirkung eines vorhandenen Winkelfehlers zwischen der Soll-Filterebene und einer durch die aktuelle Lage der Hauptebene des Verlaufsfilters (2) gegebenen Ist-Filterebene (2.1) infolge der mindestens zweimaligen Umlenkung reduziert ist und der Ablenkwinkel (a) konstant bleibt. Die Erfindung betrifft ferner optische Anordnungen (16) umfassend die Verlaufsfilteranordnung (1) und Verwendungen der Verlaufsfilteranordnung (1).

Verlaufsfilteranordnung

Die Erfindung betrifft eine Verlaufsfilteranordnung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Erfindung betrifft ferner eine optische Anordnung umfassend eine Verlaufsfilteranordnung, ein Mikroskop umfassend eine Verlaufsfilteranordnung sowie eine Verwendung der Verlaufsfilteranordnung.

Ein Verlaufsfilter ist ein optisches Filter, insbesondere mit dichroitischen Schichten, das parallel zu einer seiner, vorzugsweise planen, Oberflächen angeordnete Bereiche („spektral selektive Bereiche“) mit unterschiedlichen spektralen Filtereigenschaften aufweist. Das optische Transmissionsvermögen des Filters ist zum einen wellenlängenabhängig und für mindestens eine Wellenlänge in voneinander verschiedenen Bereichen des Filters verschieden.

Verlaufsfilter sind beispielsweise aus der DE 10 2014 008 098 A1 bekannt, in der eine optische Filtervorrichtung beschrieben ist, die ein Filter, insbesondere mit dichroitischen Schichten, umfasst, das parallel zu einer seiner Oberflächen angeordnete Bereiche mit unterschiedlichen spektralen Filtereigenschaften aufweist.

In der DE 10 2012 205 722 A1 ist ein abbildendes Farbteilermodul mit einer ersten Linse und einer zweiten Linse aufweisenden Abbildungsoptik zum Abbilden eines Objektfeldes in eine erste und eine zweite Bildebene und einem Farbteiler beschrieben. Der Farbteiler teilt einen vom Objektfeld bis zum Farbteiler verlaufenden gemeinsamen Strahlengang in einen ersten Strahlengang, der bis zur ersten Bildebene verläuft, und in einen zweiten Strahlengang, der bis zur zweiten Bildebene verläuft, wobei der gemeinsame Strahlengang und der erste Strahlengang jeweils außeraxial durch die erste Linse verlaufen und der zweite Strahlengang außeraxial durch die zweite Linse verläuft.

Ein für den Stand der Technik typischer Strahlengang bei Verwendung eines Verlaufsfilters 2 in einem Mikroskop 16 wie zum Beispiel einem Laser-Scanning-Mikroskop, ist schematisch in der Fig. 1 dargestellt. Das Verlaufsfilter 2 ist auf einer Seitenfläche eines für bestimmte zu transmittierende Wellenlängen oder Wellenlängenbereiche transparenten Trägers 3 aufgebracht.

Ein einfallender Lichtstrahl 6 beispielsweise einer Anregungs- oder Beleuchtungsstrahlung wird teilweise an dem durch eine dielektrische Beschichtung gebildeten Verlaufsfilter 2 als reflektierter Lichtstrahl 7 zurückgeworfen. Ein weiterer Anteil des einfallenden Lichtstrahls 6 passiert das Verlaufsfilter 2 und den Träger 3 und verläuft nach zweimaliger Brechung als transmittierter Lichtstrahl 8 weiter. Der einfallende Lichtstrahl 6 und der reflektierte Lichtstrahl 7 schließen einen Ablenkwinkel α ein.

Ein Nachteil eines solchen Verlaufsfilters 2 und Trägers 3 ist, dass die Strahlage des reflektierten Lichtstrahls 7 sehr stark bereits durch eine geringfügige Verkipfung des Verlaufsfilters 2 um die Y-Achse Y verändert wird. Solche Verkipfungen können beispielsweise auftreten, wenn das Verlaufsfilter 2 in seiner Ortslage verändert, beispielsweise verschoben, wird.

Bei einer auftretenden Verkipfung mit einem Kippwinkel β (lediglich zur Veranschaulichung angegeben), die bei einer mechanischen Verschiebung nie gänzlich vermeidbar ist, wird der reflektierte Lichtstrahl 7 um einen doppelten Winkel β abgelenkt. Je nach Anwendung sind

dementsprechend hohe Anforderungen an die Genauigkeit der mechanischen Führung zu erfüllen, sodass die Herstellung der mechanischen Führung entsprechend teuer und aufwendig ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Verlaufsfilteranordnung vorzuschlagen, bei der auftretende Verkippungen des Verlaufsfilters zu einer geringen Änderung der Strahlage führen. Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, mögliche Verwendungen der Verlaufsfilteranordnung sowie optische Anordnungen umfassend die Verlaufsfilteranordnung vorzuschlagen.

Die Aufgabe wird hinsichtlich der Verlaufsfilteranordnung durch den Gegenstand des Anspruchs 1 gelöst. Hinsichtlich der optischen Anordnung wird die Aufgabe durch den Gegenstand des Anspruchs 10 und hinsichtlich der Verwendungen der Verlaufsfilteranordnung durch die Gegenstände des Anspruchs 11 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

Die Verlaufsfilteranordnung umfasst einen bezüglich eines Strahlengangs ortsveränderlichen Verlaufsfilter, der in einer Soll-Filterebene vorgesehen ist, und einen Spiegel in einer Spiegelebene.

Erfindungsgemäß sind die Spiegelebene und die Soll-Filterebene zueinander fest und relativ so zueinander ausgerichtet, dass ein unter einem Einfallswinkel entlang des Strahlengangs einfallendes Bündel von Lichtstrahlen mindestens anteilig zwischen dem Verlaufsfilter und dem Spiegel reflektiert ist, sodass es mindestens zu einer zweifachen Umlenkung des einfallenden Lichtstrahls durch die Verlaufsfilteranordnung kommt. Der reflektierte Lichtstrahl wird als ein Bündel von Lichtstrahlen unter einem Ausfallwinkel aus der Verlaufsfilteranordnung reflektiert, wobei ein vorhandener Winkelfehler zwischen der Soll-Filterebene und einer durch die aktuelle Lage der Hauptebene des Verlaufsfilters gegebenen Ist-Filterebene infolge der mindestens zweimaligen Umlenkung reduziert oder gar kompensiert ist und der Ausfallwinkel relativ zu dem Einfallswinkel konstant bleibt.

Es wurde erkannt, dass durch eine mindestens zweifache Reflexion des einfallenden Lichtstrahls, die zusammen eine Umlenkung besagten einfallenden Lichtstrahls ergeben, die nachteiligen Veränderungen der Strahlage reduzieren lassen, wenn beide Reflexionsflächen fest miteinander verbunden sind und dadurch immer gemeinsam gekippt werden.

Die Soll-Filterebene bezeichnet eine Ebene, in der sich der Verlaufsfilter im Idealfall mit seiner größten Ausdehnung erstreckt, während die Ist-Filterebene eine Ebene mit einer aktuellen Lage bezeichnet, in der sich der Verlaufsfilter aktuell mit seiner größten Ausdehnung erstreckt. Eine Winkelabweichung zwischen Soll-Filterebene und Ist-Filterebene wird als Kippwinkel β bezeichnet.

Die Verlaufsfilteranordnung ist gegenüber dem Strahlengang des einfallenden Lichtstrahls ortsveränderlich. Seine Position entlang des Strahlengangs und/oder seine Winkellage bezüglich des Strahlengangs sind veränderlich.

In einer möglichen Ausführung der Verlaufsfilteranordnung ist der Verlaufsfilter auf einer Seitenfläche eines Pentaprismas ausgebildet. Der Spiegel ist durch eine der anderen Seitenflächen des Pentaprismas gebildet. Ein Pentaprisma hat die Eigenschaft, dass der reflektierte Lichtstrahl immer um exakt 90° gegenüber dem einfallenden Lichtstrahl abgelenkt wird, egal wie das Pentaprisma verdreht wird.

Es ist in einer weiteren Ausführung der VerlaufsfILTERANORDNUNG möglich, dass geeignete Prismen mit anderen Anzahlen von Seitenflächen als die eines Pentaprismas verwendet werden.

Weitere mögliche Ausführungen der erfindungsgemäßen VerlaufsfILTERANORDNUNG sind derart ausgestaltet, dass der Strahlweg zwischen VerlaufsfILTER und Spiegel nicht durch einen Körper verläuft. So können VerlaufsfILTER und Spiegel relativ zueinander fest angeordnet sein und beispielsweise eine gemeinsame Basis besitzen.

Eine erfindungsgemäße VerlaufsfILTERANORDNUNG muss so gewählt sein, dass sich bei einer Kippung des VerlaufsfILTERS zumindest in einer Richtung der Ablenkungswinkel des reflektierten Lichtstrahls weniger ändert als die Winkeländerung des VerlaufsfILTERS selbst. Dies ist vorteilhaft durch ein Pentaprisma erreicht.

Vorteilhaft sind Ausführungen der VerlaufsfILTERANORDNUNG, bei denen der einfallende Lichtstrahl mit einem kleinen Einfallswinkel von beispielsweise 10° auf das VerlaufsfILTER auftrifft. Der Einfallswinkel auf das VerlaufsfILTER kann je nach Anforderungen an die Filtereigenschaften variieren. Beispielsweise haben sich 10° als guter Kompromiss zwischen Filtereigenschaften, die bei einem Einfallswinkel von 0° am besten sind, und einer Trennung von einfallendem und reflektiertem Lichtstrahl erwiesen. Die winkelstabilisierenden Eigenschaften eines Pentaprismas bleiben von den Einfallswinkeln unberührt.

Um eine aufgrund der Prismenwirkung mögliche auftretende Ablenkung des transmittierten Lichtstrahls auszugleichen, ist in einer möglichen Ausführung der VerlaufsfILTERANORDNUNG dem VerlaufsfILTER auf oder nach seiner dem Spiegel abgewandten Seitenfläche ein optisches Ausgleichselement nachgeordnet. Das Ausgleichselement kann beispielsweise als ein Prisma ausgebildet sein.

Der Spiegel kann als eine reflektiv wirkende Beschichtung einer Oberfläche sowie durch die Grenzfläche einer der Seitenflächen eines Prismas ausgebildet sein. In einer weiteren Ausführungsmöglichkeit der VerlaufsfILTERANORDNUNG ist der Spiegel als ein Retroreflektor, beispielsweise als ein Tripelspiegel oder ein sogenanntes Katzenauge ausgebildet.

Die VerlaufsfILTERANORDNUNG kann in weiteren Ausführungen derart ausgebildet sein, dass das einfallende Bündel der Lichtstrahlen von dem VerlaufsfILTER auf den Spiegel reflektiert und von diesem zurück auf den VerlaufsfILTER reflektiert ist beziehungsweise reflektierbar ist.

Das VerlaufsfILTER, der beispielsweise als ein Hauptfarbteiler eines Mikroskops ausgebildet ist, wird in diesen Ausführungsformen zweimal von dem Beleuchtungslicht getroffen, bevor er beispielsweise in einen Strahlengang des Mikroskops abgelenkt wird. Infolge dieser Doppelnutzung kompensiert sich ein Fehler der Strahllage von selbst. Durch eine zweite Reflektion an einem mit Lagetoleranzen behaftetem Bauteil wird der Winkelfehler einer ersten Reflektion kompensiert.

Das Beleuchtungslicht dient vorteilhaft als Anregungslicht. Dabei kann mittels des Anregungslichts die Emission einer Fluoreszenzstrahlung angeregt werden und/oder Anteile des eine Probe beaufschlagenden Anregungslichts werden als Reflexionslicht reflektiert. Fluoreszenzstrahlung und/oder Reflexionslicht sind als Detektionsstrahlung erfassbar.

Eventuell verbleibende Restfehler in Form von Winkelfehlern senkrecht zur Auslenkung des VerlaufsfILTERS und geringe Lateralversätze des reflektierten Lichtstrahls werden durch die Doppelnutzung des VerlaufsfILTERS als Reflexionsfläche kompensiert.

Zwischen dem Verlaufsfilter und dem Spiegel kann mindestens eine optische Linse angeordnet sein, um die von dem Verlaufsfilter reflektierten Lichtstrahlen und/oder die wieder von dem Spiegel auf den Verlaufsfilter zurück reflektierten Lichtstrahlen zu formen, beispielsweise zu bündeln oder zu fokussieren.

Die Verlaufsfilteranordnung kann entlang einer Achse verschiebbar ausgebildet sein. Dazu kann die Verlaufsfilteranordnung einen entlang der Achse verschiebbaren Schlitten umfassen.

Die Verlaufsfilteranordnung kann Teil einer optischen Anordnung sein. Vorteilhaft ist die Verlaufsfilteranordnung Teil eines Mikroskops, beispielsweise eines Laser Scanning-Mikroskops.

Vorteilhaft kann die Verlaufsfilteranordnung verwandt werden, um einen Winkelfehler zwischen der Soll-Filterebene und der durch die Hauptebene des Verlaufsfilters gegebenen Ist-Filterebene zu reduzieren oder gar zu kompensieren.

Eine solche Kompensationsmöglichkeit bietet großes Potenzial zur Erhöhung der Effizienz abbildender Systeme. Ein Beispiel ist die Einkopplung eines reflektierten Lichtstrahls in eine Glasfaser mit z. B. einem Kerndurchmesser von 100 μm . Bei typischen Brennweiten einer Einkoppellinse von 5 mm verschiebt sich der Fokuspunkt hinter der Einkoppellinse bei einer Winkeländerung des reflektierten Lichtstrahls von $0,1^\circ$, also bei einer Verkippung des Verlaufsfilters von $0,05^\circ$ bereits um rund 10 μm , was bereits merkliche Einkoppelverluste nach sich zöge.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Abbildungen näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Strahlenverlaufs an einem Verlaufsfilter (Stand der Technik),

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Verlaufsfilteranordnung im Querschnitt,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Verlaufsfilteranordnung im Querschnitt,

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Verlaufsfilteranordnung im Querschnitt,

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Verlaufsfilteranordnung im Querschnitt,

Fig. 6 eine schematische Darstellung eines fünften Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Verlaufsfilteranordnung in einer perspektivischen Ansicht und

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines sechsten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Verlaufsfilteranordnung.

In den schematisch dargestellten Abbildungen der Ausführungsbeispiele bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche technische Elemente.

Der in Fig 1 dargestellte Strahlenverlauf an einem Verlaufsfilter 2 liegt im Wesentlichen in einer XZ-Ebene XZ eines kartesischen Koordinatensystems mit einer X-Achse X, einer Y-Achse Y und einer Z-Achse Z.

In einem in der Fig. 2 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel einer Verlaufsfilteranordnung 1 ist ein Pentaprisma 10 vorhanden, das in einer seitlichen Darstellung gezeigt ist und das erste bis fünften Seitenflächen 10.1, 10.2, 10.3, 10.4 und 10.5 aufweist. Das Verlaufsfilter 2 ist auf der zweiten Seitenfläche 10.2 aufgebracht. Die vierte Seitenfläche 10.4 ist verspiegelt und fungiert als Spiegel 4. Die Ebene der zweiten Seitenfläche 10.2 fällt mit einer Filterebene 2.1 zusammen, die einer Ist-Filterebene des Verlaufsfilters 2 entspricht und in der sich das Verlaufsfilter 2 erstreckt. Die vierte Seitenfläche 10.4 fällt mit einer Spiegelebene 4.1 zusammen. Im unverkippten Zustand des Verlaufsfilters 2 fallen Soll-Filterebene und Ist-Filterebene 2.1 zusammen.

Die Verlaufsfilteranordnung 1 ist in den Ausführungsbeispielen schematisch als Teil einer optischen Anordnung 16, insbesondere eines Mikroskops 16 dargestellt.

Ein einfallender Lichtstrahl 6 eines Beleuchtungslichts tritt durch die fünften Seitenfläche 10.5 in das Pentaprisma 10 ein und wird an der Filterebene 2.1 durch Wirkung des Verlaufsfilters 2 anteilig reflektiert.

Ein nicht reflektierter Anteil des Lichtstrahls 6 tritt durch das Verlaufsfilter 2 und breitet sich als transmittierter Lichtstrahl 8 aus.

Der reflektierte Anteil des Lichtstrahls 6 wird an der Spiegelebene 4.1 erneut reflektiert und tritt als ein reflektierter Lichtstrahl 7 aus der ersten Seitenfläche 10.1 aus.

Der einfallende Lichtstrahl 6 und der reflektierte Lichtstrahl 7 schließen den Ablenkwinkel α ein.

Sollte die Verlaufsfilteranordnung 1 beispielsweise um den schematisch und aus Gründen der besseren Anschaulichkeit überdimensioniert gezeigten Kippwinkel β um die Y-Achse Y gekippt werden, bleibt der Ablenkwinkel α durch Wirkung der zweifachen Reflexion zwischen Verlaufsfilter 2 und Spiegel 4 bei gleichzeitiger fester Relativlage von Verlaufsfilter 2 und Spiegel 4 konstant.

In einem in Fig. 3 zweiten Ausführungsbeispiel der Verlaufsfilteranordnung 1 ist ein Pentaprisma 10 mit einer gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel veränderten Form vorhanden. Bei einer Kippbewegung um die Y-Achse Y und mit dem Kippwinkel β bleibt der Ablenkwinkel α konstant.

Statt eines Pentaprismas 10 ist in einem dritten Ausführungsbeispiel eine L- oder U-förmige Verlaufsfilteranordnung 1 dargestellt (Fig. 4). Der Verlaufsfilter 2 ist auf einer Oberfläche des Trägers 3 ausgebildet. Der Träger 3 steht mittels eines Spiegelfußes 12 mit dem Spiegel 4 in einer starren Verbindung. Der Spiegel 4 ist auf einer geneigten planen Oberfläche des Spiegelfußes 12 als eine reflektierende Schicht ausgebildet. Infolge der starren Verbindung von Verlaufsfilter 2 mit Träger 3 und Spiegel 4 sind diese zueinander fest und relativ so zueinander ausgerichtet, dass ein unter einem Einfallswinkel entlang des Strahlengangs einfallendes Bündel von Lichtstrahlen 6 mindestens anteilig zwischen dem Verlaufsfilter 2 und dem Spiegel 4 reflektiert ist, sodass es zu einer zweifachen Umlenkung des einfallenden Lichtstrahls 6 durch die Verlaufsfilteranordnung 1 kommt. Zwischen dem Verlaufsfilter 2 und dem Spiegel 4 ist der reflektierte Lichtstrahl 7 als Freistrahle geführt.

Die Fig. 5 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel der Verlaufsfilteranordnung 1. Diese ist als Pentaprisma 10 ausgebildet und mittels Befestigungselementen 14 auf einem Schlitten 15 montiert, mittels dem die Verlaufsfilteranordnung 1 entlang der X-Achse X verschiebbar ist.

Der Verlaufsfilter 2 wird in eine Bildebene beispielsweise eines Mikroskops 16 hinein verschoben, um andere Stellen auf dem Verlaufsfilter 2 zu treffen. Aufgrund der optischen Eigenschaften des Pentaprismas 10 wird der reflektierte Lichtstrahl 7 immer um einen Ablenkwinkel α von 90° gegenüber dem einfallenden Lichtstrahl 6 abgelenkt, unabhängig von dem Kippwinkel β .

Wenn also durch das Verschieben des Schlittens 15 mit der Verlaufsfilteranordnung 1 in Richtung der Y-Achse Y ungewollt verkippt wird, führt dies zu keiner Änderung des Ablenkwinkels α und des reflektierten Lichtstrahls 7. Kippbewegungen um die in der Fig. 5 waagrecht dargestellte X-Achse X führen zwar noch zu Änderungen des Ablenkwinkels α (siehe Fig. 2 bis 4), jedoch sind diese wegen der üblicherweise relativ großen Baulänge des Schlittens 15 geringer als Kippbewegungen um die Z-Achse Z. Die Änderungen des Ablenkwinkels α sind bei einer Kippbewegungen um die X-Achse X nur exakt genauso groß wie die mechanischen Lageänderungen.

Um eine Ablenkung des transmittierten Lichtstrahls 8 zu kompensieren, ist in dem Strahlengang des transmittierten Lichtstrahls 8 ein Ausgleichselement 11 in Form eines weiteren Prisma mit auf dem Schlitten 15 befestigt, so dass sich Verlaufsfilteranordnung 1 und Ausgleichselement 11 gemeinsam bewegen und gegebenenfalls auch gemeinsam verkippt werden. Auf diese Weise verläuft der transmittierte Lichtstrahl 8 immer mit einem konstanten Winkel, also in die gleiche Richtung.

In dem in Fig. 6 perspektivisch dargestellten fünften Ausführungsbeispiel der Verlaufsfilteranordnung 1 ist ausschnittsweise und schematisch ein Mikroskop 16 mit einer Verlaufsfilteranordnung 1 gezeigt.

In einem typischen als Laser Scanning Mikroskop (LSM) ausgebildeten Mikroskop 16 gibt es als ein zentrales Funktionselement einen auch als Hauptfarbteiler bezeichneten Verlaufsfilter 2, der einen Detektionsstrahlengang 9 von einem Anregungsstrahlengang 5 trennt, die beide durch Pfeile symbolisiert sind. Dabei wird ein Bündel einfallender Lichtstrahlen 6 am Verlaufsfilter 2 reflektiert, durch Wirkung des Spiegels 4 sowie des Verlaufsfilters 2 umgelenkt und als reflektierter Lichtstrahl 7 entlang des Anregungsstrahlengangs 5 auf eine Probe (nicht dargestellt) gelenkt.

Von der Probe gelangt das in der Wellenlänge verschobene Fluoreszenzsignal als Detektionslicht durch das Mikroskop 16 wieder auf das Verlaufsfilter 2 und wird dort nun aufgrund der größeren Wellenlänge transmittiert (transmittierter Lichtstrahl 8).

Im weiteren Verlauf des Detektionsstrahlenganges 9 gelangt das Licht des transmittierten Lichtstrahls 8 beispielsweise auf ein Pinhole oder auf einen Airy-Scan Detektor (beide nicht gezeigt). Lagetoleranzen des Verlaufsfilters 2 wirken sich auf den reflektierten Lichtstrahl 7 aus. Das hat zur Folge, dass nach einer Änderung des Kippwinkels β eine leicht andere Stelle in der Probe getroffen wird als vor der Änderung. Detektionslicht der Auftreffstelle wird detektionsseitig versetzt in die Pinhole-Ebene abgebildet und verfehlt das Pinhole, was einen Signalverlust bedingt.

Das Bündel einfallender Lichtstrahl 6 wird durch den Verlaufsfilter 2 auf den Spiegel 4 reflektiert und gelangt von diesem wiederum zu dem Verlaufsfilter 2 zurück. Das Licht des nun zweimal von dem Verlaufsfilter 2 reflektierten Lichtstrahls 7 wird entlang des Anregungsstrahlengangs 5 auf die Probe gerichtet. Von der Probe erhaltenes Detektionslicht trifft auf dem Verlaufsfilter 2 auf und wird

aufgrund seiner veränderten Wellenlänge, für die der Verlaufsfilter 2 transparent ist, als transmittierter Lichtstrahl 8 entlang des Detektionsstrahlengangs 9 geführt.

In der vorliegenden Ausführung der Verlaufsfilteranordnung 1 kompensieren sich alle Winkelfehler exakt. Zur Vermeidung eines Lateralversatzes wird das Verlaufsfilter 2 auf sich selbst abgebildet. Zur Detektion wird das Verlaufsfilter 2 in einfachem Durchgang benutzt, so dass keine Nachteile gegenüber dem Stand der Technik entstehen.

Die bisher im Stand der Technik genutzte Lösung unter Verwendung eines Justierspiegels im Anregungsstrahlengang 5, mittels dem bei Bedarf eine jeweilige Abweichung von Ist- und Soll-Filterebene kompensiert wird, ist bei einer Verwendung der erfindungsgemäßen Verlaufsfilteranordnung 1 nicht erforderlich. Damit kann bei einer Lageänderung der des Verlaufsfilters 2 vorteilhaft ein Nachführen des Justierspiegels entfallen. Eine Wechselmechanik für das Verlaufsfilter 2 kann vorteilhaft einfacher ausgeführt werden.

Eine weitere Ausführungsmöglichkeit ist in der Fig. 7 dargestellt, wobei im Gegensatz zu dem in Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiel keine Abbildung des Verlaufsfilters 2 auf sich selbst erfolgt. Dafür ist allerdings zur Umlenkung des einfallenden Lichtstrahls 6 ein Retroreflektor als Spiegel 4 angeordnet, damit der am Verlaufsfilter 2 reflektierte Lichtstrahl 7 ohne Winkeländerung zurückreflektiert werden kann. Der Strahlweg des Bündels reflektierter Lichtstrahlen 7 in oder auf dem Spiegel 4 ist nicht dargestellt.

Bezugszeichen

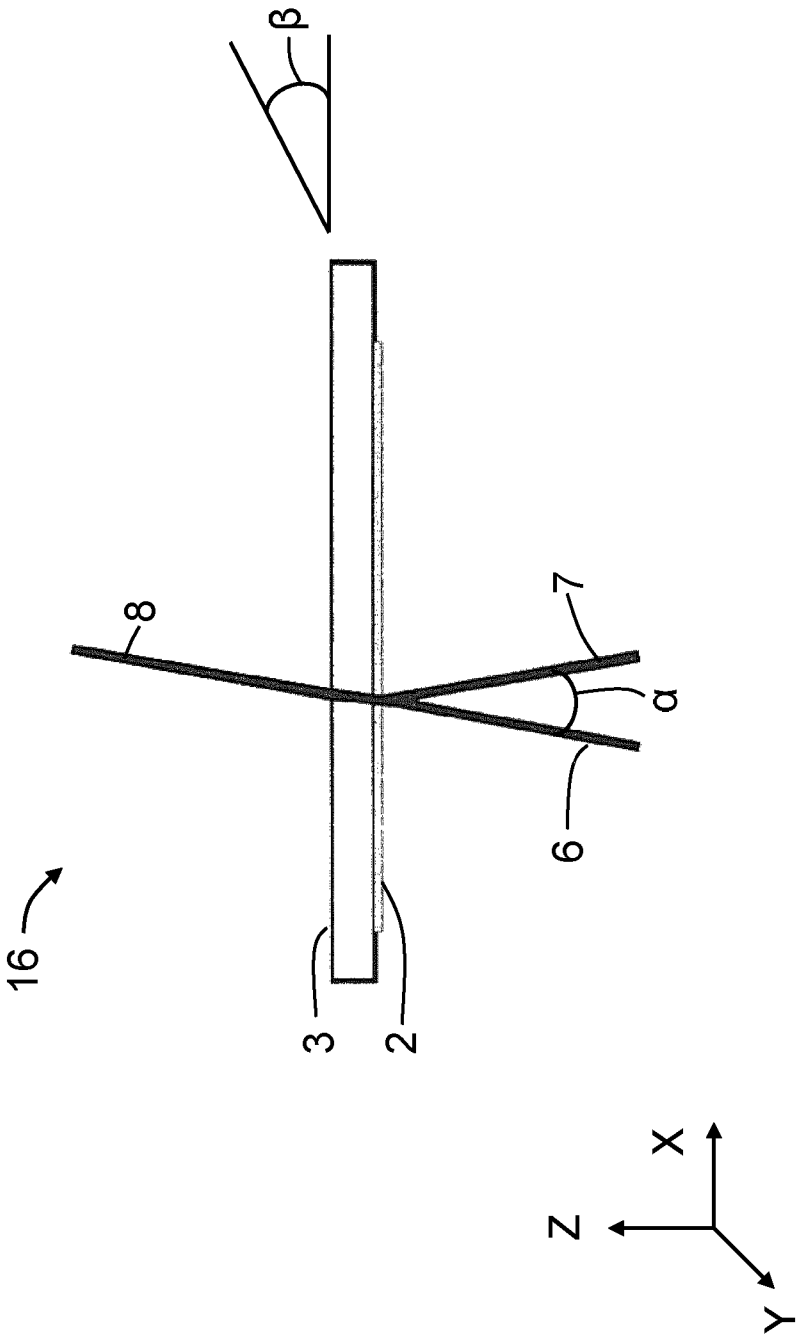
- | | |
|------|-----------------------------|
| 1 | Verlaufsfilteranordnung |
| 2 | Verlaufsfilter |
| 2.1 | Ist-Filterebene |
| 3 | Träger |
| 4 | Spiegel |
| 4.1 | Spiegelebene |
| 5 | Anregungsstrahlengang |
| 6 | einfallender Lichtstrahl |
| 7 | reflektierter Lichtstrahl |
| 8 | transmittierter Lichtstrahl |
| 9 | Detektionsstrahlengang |
| 10 | Pentaprisma |
| 10.1 | erste Seitenfläche |
| 10.2 | zweite Seitenfläche |

- 10.3 dritte Seitenfläche
- 10.4 vierte Seitenfläche
- 10.5 fünfte Seitenfläche
- 11 Ausgleichselement
- 12 Spiegelfuß
- 13 optische Linse
- 14 Befestigungselement
- 15 Schlitten
- 16 optische Anordnung/Mikroskop
- X X-Achse
- Y Y-Achse
- Z Z-Achse
- α Ablenkwinkel
- β Kippwinkel

Patentansprüche

1. Verlaufsfilteranordnung (1) umfassend einen bezüglich eines Strahlengangs ortsveränderlichen Verlaufsfilter (2), der in einer Soll-Filterebene vorgesehen ist, und einen Spiegel (4) in einer Spiegelebene (4.1),
dadurch gekennzeichnet, dass
die Spiegelebene (4.1) und die Soll-Filterebene zueinander fest und relativ so zueinander ausgerichtet sind, dass ein unter einem Einfallswinkel entlang des Strahlengangs einfallendes Bündel von Lichtstrahlen (6) mindestens anteilig zwischen dem Verlaufsfilter (2) und dem Spiegel (4) reflektiert ist, sodass es zu einer mindestens zweifachen Umlenkung des einfallenden Lichtstrahls (6) durch die Verlaufsfilteranordnung (1) kommt und
der reflektierte Lichtstrahl (7) als ein Bündel von Lichtstrahlen unter einem Ablenkwinkel (α) aus der Verlaufsfilteranordnung (1) reflektiert ist, wobei ein vorhandener Winkelfehler in Form eines Kippwinkels (β) zwischen der Soll-Filterebene und einer durch die aktuelle Lage der Hauptebene des Verlaufsfilters (2) gegebenen Ist-Filterebene (2.1) infolge der mindestens zweimaligen Umlenkung reduziert ist und der Ablenkwinkel (α) konstant bleibt.
2. Verlaufsfilteranordnung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Spiegel (4) als ein Retroreflektor ausgebildet ist.
3. Verlaufsfilteranordnung (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das einfallende Bündel der Lichtstrahlen (6) von dem Verlaufsfilter (2) auf den Spiegel (4) reflektiert und von diesem zurück auf den Verlaufsfilter (2) reflektiert ist beziehungsweise reflektierbar ist.
4. Verlaufsfilteranordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Verlaufsfilter (2) und Spiegel (4) eine optische Linse (13) angeordnet ist.
5. Verlaufsfilteranordnung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Verlaufsfilter (2) auf einer Seitenfläche (10.1 bis 10.5) eines Pentaprismas (10) ausgebildet ist und der Spiegel (4) durch eine der anderen Seitenflächen (10.1 bis 10.5) des Pentaprismas (10) gebildet ist.
6. Verlaufsfilteranordnung (1) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass dem Verlaufsfilter (2) auf seiner dem Spiegel (4) abgewandten Seitenfläche ein optisches Ausgleichselement (11) nachgeordnet ist.
7. Verlaufsfilteranordnung (1) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgleichselement (11) als ein Prisma ausgebildet ist.
8. Verlaufsfilteranordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass diese entlang einer Achse (X) verschiebbar ausgebildet ist.
9. Verlaufsfilteranordnung (1) nach Anspruch 8, umfassend einen entlang der Achse (X) verschiebbaren Schlitten (15).

10. Optische Anordnung (16) umfassend eine VerlaufsfILTERANORDNUNG (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
11. Verwendung einer VerlaufsfILTERANORDNUNG (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Reduzierung der optischen Wirkung eines Kippwinkels (β) zwischen einer Soll-FILTEREBENE und einer durch die Hauptebene eines VerlaufsfILTERS (2) gegebenen Ist-FILTEREBENE (2.1).



Stand der Technik

Fig. 1

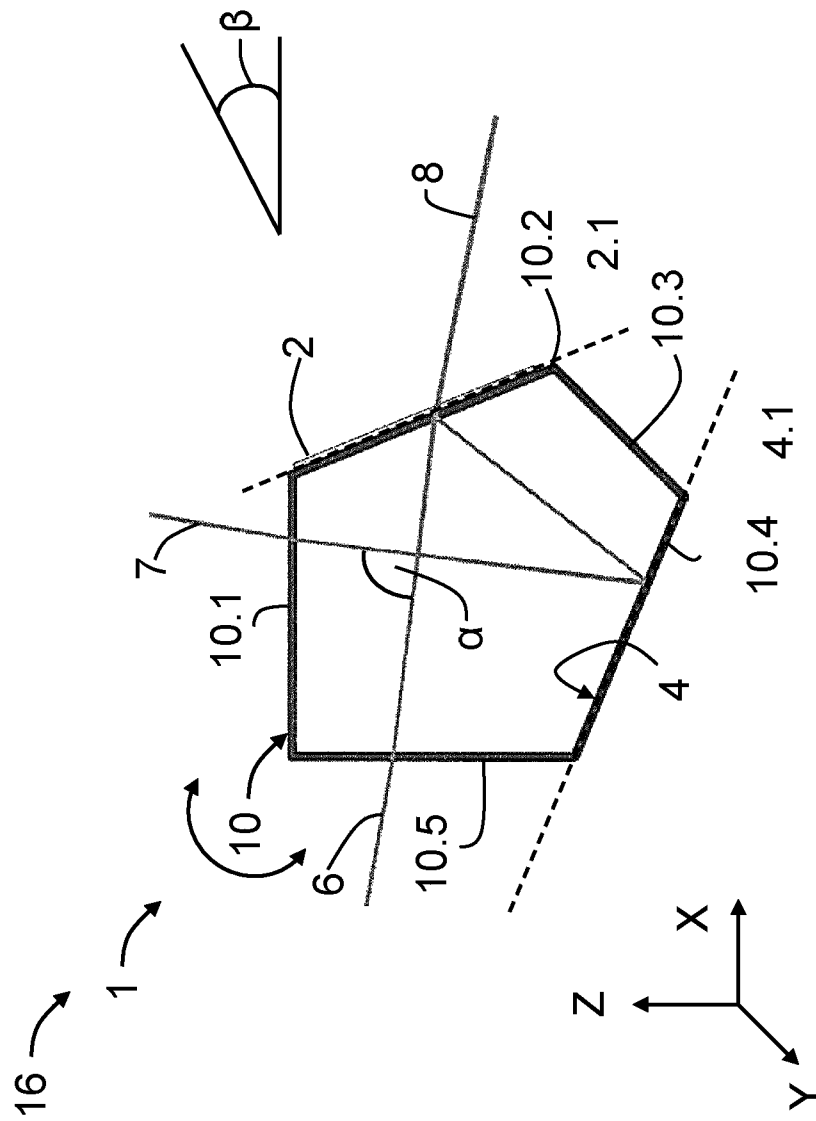


Fig. 3

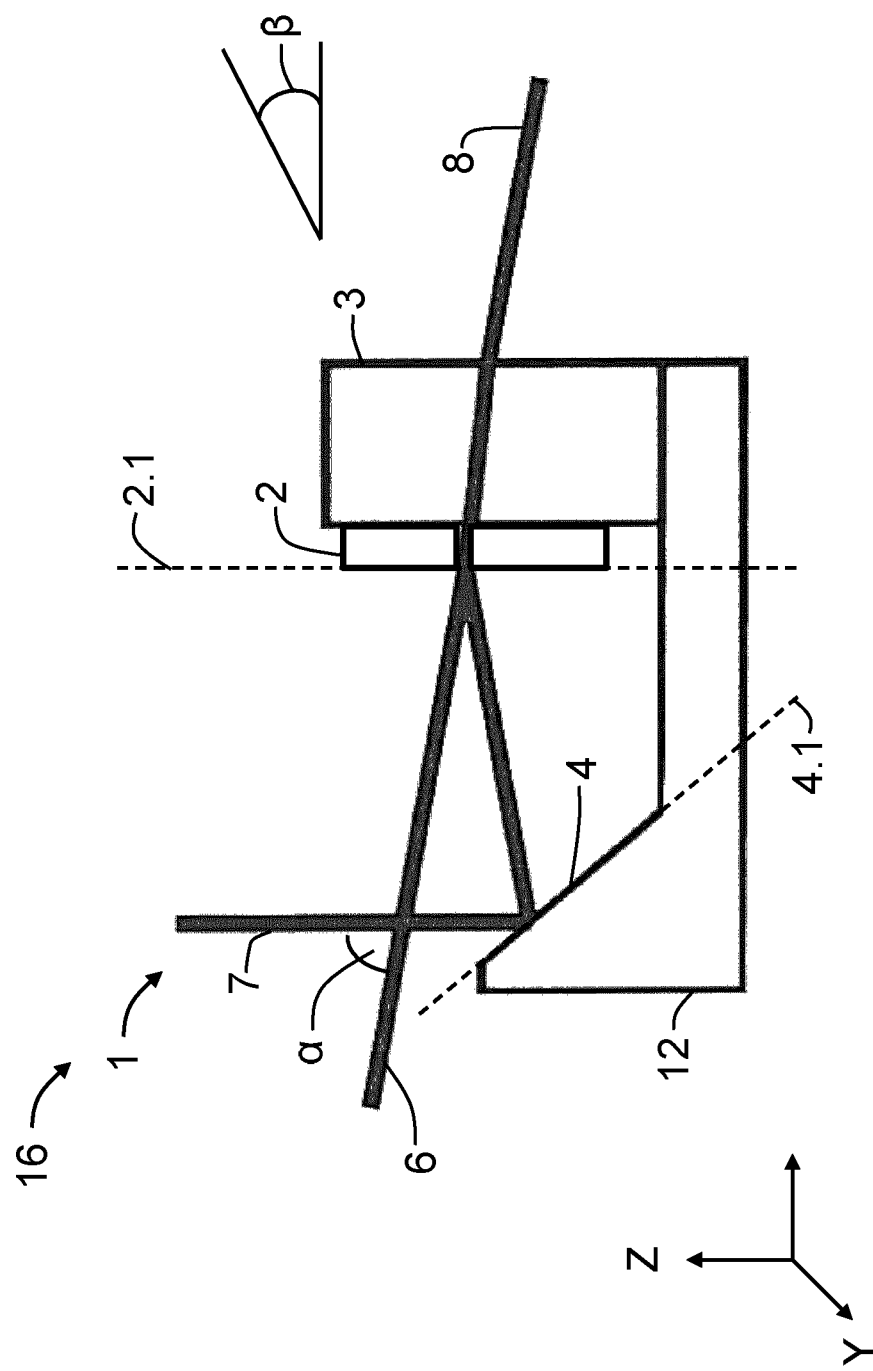


Fig. 4

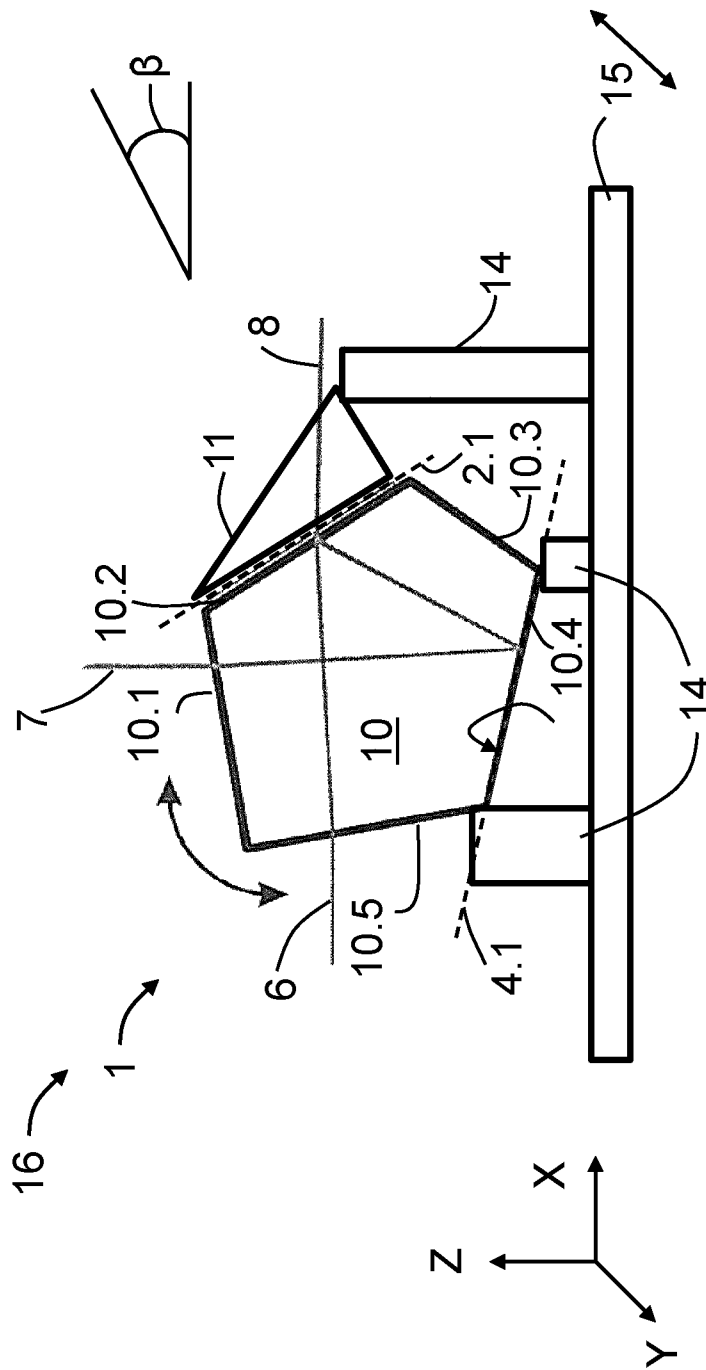


Fig. 5

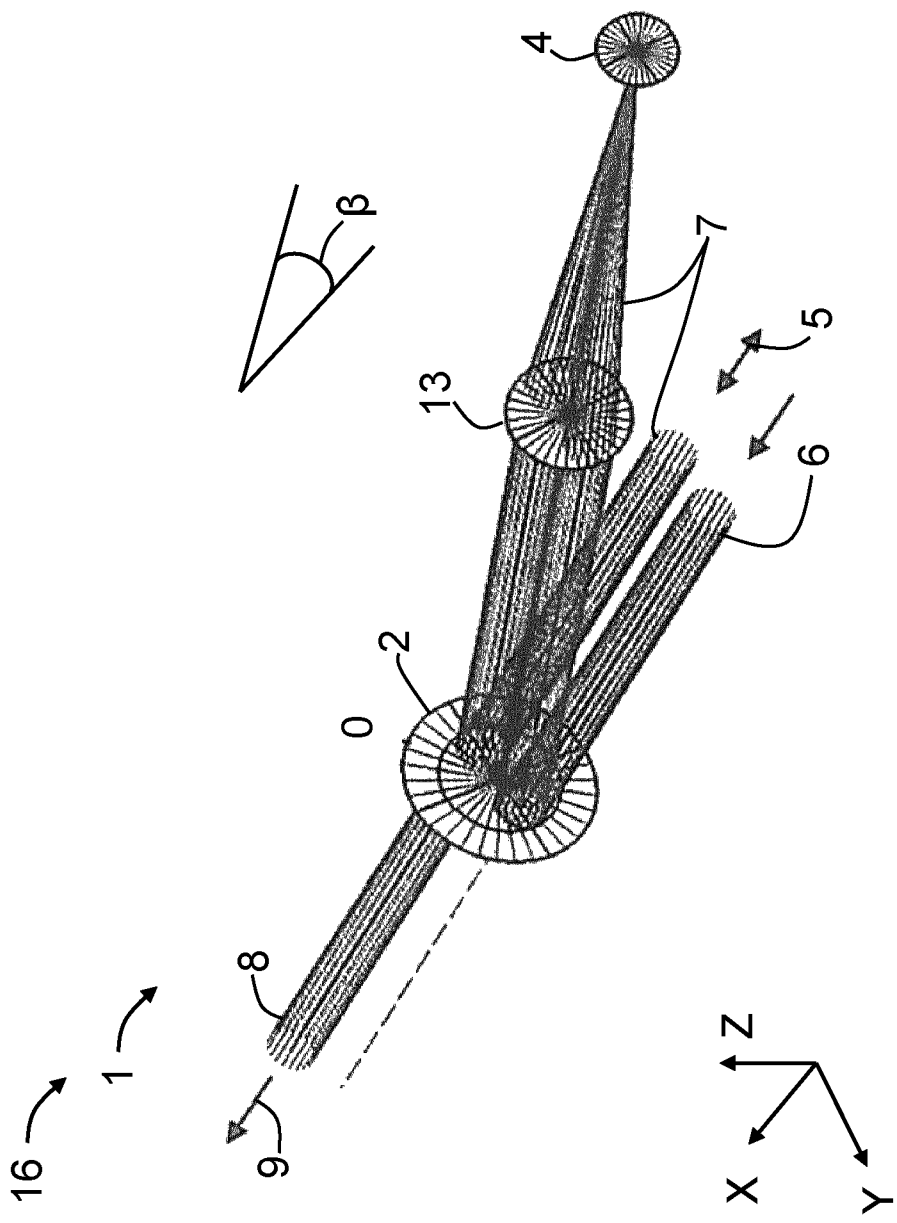


Fig. 6

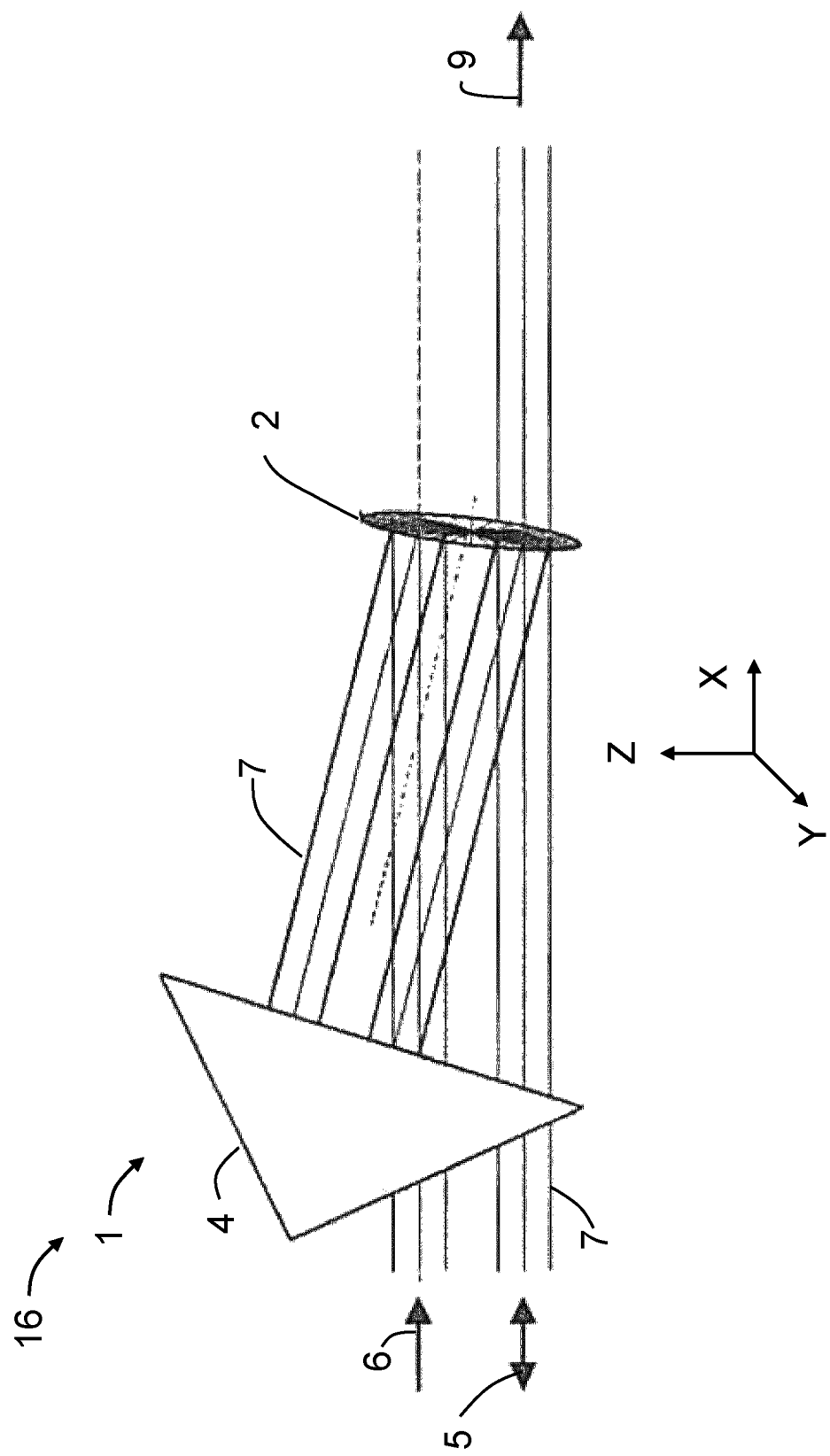


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/062331A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02B21/00 G02B5/20
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)
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 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	JP H11 326345 A (OLYMPUS OPTICAL CO) 26 November 1999 (1999-11-26) abstract; figure 4 -----	1-11



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

28 July 2017

Date of mailing of the international search report

04/08/2017

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

Daffner, Michael

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/062331

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP H11326345	A	26-11-1999	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G02B21/00 G02B5/20
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 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.
X	JP H11 326345 A (OLYMPUS OPTICAL CO) 26. November 1999 (1999-11-26) Zusammenfassung; Abbildung 4 -----	1-11



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

28. Juli 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

04/08/2017

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

Daffner, Michael

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/EP2017/062331

Im Recherchenbericht
angeführtes Patentdokument

Datum der
Veröffentlichung

Mitglied(er) der Patentfamilie

Datum der
Veröffentlichung

JP H11326345	A	26-11-1999	KEINE
--------------	---	------------	-------