



(10) **DE 10 2010 028 213 A1** 2011.10.27

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 028 213.8**

(22) Anmeldetag: **26.04.2010**

(43) Offenlegungstag: **27.10.2011**

(51) Int Cl.: **G02F 1/09 (2006.01)**
H01S 3/02 (2006.01)

(71) Anmelder:

**JT Optical Engine GmbH + Co. KG, 07745, Jena,
DE**

(72) Erfinder:

**Nicklaus, Kolja, Dr., 07743, Jena, DE; Kumkar,
Malte, Dr., 99425, Weimar, DE**

(74) Vertreter:

**GEYER, FEHNERS & PARTNER (G.b.R.), 80687,
München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

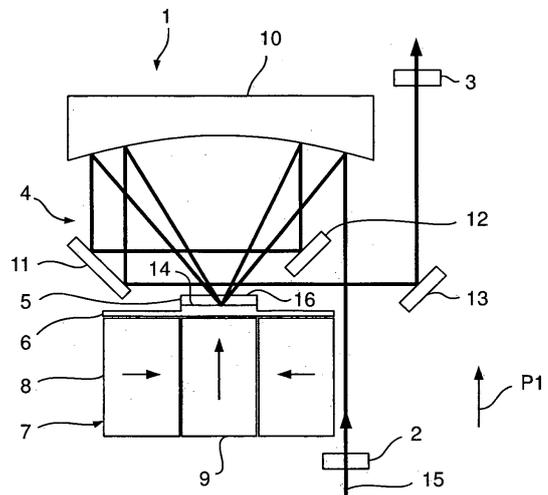
US 66 78 092 B2
US 57 15 080 A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Optischer Isolator**

(57) Zusammenfassung: Es wird bereitgestellt ein optischer Isolator mit einem Eingangspolarisationsfilter (2), einem Ausgangspolarisationsfilter (3), und einem zwischen beiden Filtern (2, 3) angeordneten Faraday-Rotator (4), der zumindest ein scheibenförmiges Faraday-Element (5, 5'), das eine Vorderseite (16, 16') und eine reflektive Rückseite (14, 14') umfaßt sowie den Faraday-Effekt zeigt, einen von der Vorderseite (16, 16') beabstandeten Reflektor (10, 10', 5') sowie einen Magneten (7, 7') aufweist, wobei ein durch den Eingangspolarisationsfilter (2) einfallender Laserstrahl (15) aufgrund zumindest einer Reflexion am Reflektor (10, 10', 5') mehrmals von der Vorderseite (16, 16') durch das zumindest eine Faraday-Element (5, 5') läuft und an seiner Rückseite (14) reflektiert wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen optischen Isolator, der dazu genutzt werden kann, einen Laserstrahl einer Laserquelle durchzulassen und gleichzeitig unerwünschte Reflexionen zurück in die Laserquelle zu verhindern.

[0002] Es sind optische Isolatoren bekannt, bei denen unter Ausnutzung des Faraday-Effektes (Polarisationsdrehung im Magnetfeld) eine Reflexion von Laserstrahlen zurück in die Laserquelle vermieden werden können. Dabei weist das Faraday-aktive Element häufig die Form eines Stabes (Zylinder mit größerer Länge als Durchmesser) auf, durch den der Laserstrahl geführt wird. Ein Teil des durch den Stab geführten Laserstrahles wird absorbiert und führt zur Erwärmung des Stabes. Durch die Abführung der Wärme über die Mantelfläche des Stabes entsteht eine leistungsabhängige thermisch induzierte Linse und thermisch induzierte Doppelbrechung, die zu einer Änderung der Strahlparameter (und damit beispielsweise zu einer unerwünschten Verschiebung der Fokussposition des Laserstrahles) und zu einer Verringerung des Isolationsgrades führen. Somit ist mit zunehmender Leistung die praktische Einsetzbarkeit eines solchen optischen Isolators eingeschränkt.

[0003] In der US 5,115,340 ist eine Anordnung beschrieben, bei der ein scheibenförmiges Faraday-Element einseitig auf eine Wärmesenke aufgebracht ist und eine Magnetanordnung mit verschiedenen Magnetformen und Magnetfeldformungselementen eingebracht ist. Es wird gegenüber einem stabförmigen Faraday-Element eine geringere Temperaturdifferenz in radialer Richtung (und damit eine geringere thermische Linse) im Faraday-Element erreicht. Um die gewünschte Drehung der Polarisationsrichtung zu erreichen, wird der Laserstrahl einmal durch das Faraday-Element geführt.

[0004] Im Bereich hoher mittlerer Leistungen (d. h. über 1–2 W) ist das Faraday-aktive Material mit der höchsten Verdet-Konstante Terbium-Gallium-Granat (TGG). Im nahen Infrarotbereich (Wellenlängen von 1,0 bis 1,1 μm) beträgt diese ca. 40 rad/(Tm). Bei einer erreichbaren magnetischen Flußdichte im Bereich von etwa 1 T wird für eine Polarisationsdrehung von 45°, wie sie in Faraday-Isolatoren benötigt wird, somit eine Weglänge durch das Medium von etwa 20 mm benötigt. Im Fall der Scheibe mit Reflexion bedeutet dies eine Dicke der Scheibe mit etwa 10 mm. Um jedoch von einer möglichst eindimensionalen Wärmeleitung profitieren zu können, muß das Aspektverhältnis von Dicke zu Durchmesser der Scheibe möglichst gering sein (bevorzugt kleiner als 0,5). Demnach würden für eine solche Anordnung eine Scheibe mit einem Durchmesser von mindestens 20 mm Durchmesser benötigt werden, besser wäre ein Durchmesser von mindestens 50 mm. Scheiben

aus einem Faraday-aktiven Material mit einem solchen Durchmesser sind jedoch sehr teuer.

[0005] Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der Erfindung, einen optischen Isolator mit einem scheibenförmigen Faraday-Element zur Verfügung zu stellen, das für höhere Leistungen geeignet ist und kostengünstig hergestellt werden kann.

[0006] Die Aufgabe wird gelöst durch einen optischen Isolator mit einem Eingangspolarisationsfilter, einem Ausgangspolarisationsfilter und einem zwischen beiden Filtern angeordneten Faraday-Rotator, der zumindest ein scheibenförmiges Faraday-Element, das eine Vorderseite und eine reflektive Rückseite umfaßt sowie den Faraday-Effekt zeigt, einen von der Vorderseite beabstandeten Reflektor sowie einen Magneten aufweist, wobei ein durch den Eingangspolarisationsfilter einfallender Laserstrahl aufgrund zumindest einer Reflexion am Reflektor mehrmals von der Vorderseite durch das zumindest eine Faraday-Element läuft und an seiner Rückseite reflektiert wird.

[0007] Bei dem erfindungsgemäßen optischen Isolator ist somit der Faraday-Rotator so ausgebildet, daß der mehrfache Durchgang des Laserstrahles durch das zumindest eine Faraday-Element mittels des von der Vorderseite bzw. vom Faraday-Element beabstandeten Reflektors bewirkt wird, so daß die notwendige optische Weglänge bereitgestellt werden kann, selbst wenn das zumindest eine Faraday-Element dünn ist. Die Anzahl der Durchgänge kann zwei, drei, vier, etc. betragen. Besonders bevorzugt sind sechs bis zehn Durchgänge, wobei jedoch auch noch mehr Durchgänge möglich sind. Ein dünnes Faraday-Element ist relativ kostengünstig, so daß der erfindungsgemäße optische Isolator kostengünstig hergestellt werden kann und gleichzeitig für hohe mittlere Leistungen geeignet ist. Unter hohen mittleren Leistungen werden hier Leistungen im Bereich von größer 1 W, insbesondere größer 100 W und besonders bevorzugt größer 1 kW verstanden.

[0008] Der Magnet ist insbesondere so ausgebildet, daß ein möglichst homogenes Magnetfeld im Bereich des Faraday-Elementes vorliegt.

[0009] Bei dem optischen Isolator kann der Faraday-Rotator so ausgebildet sein, daß die einzelnen Durchgänge des Laserstrahls durch das zumindest eine Faraday-Element innerhalb der Rayleigh-Länge des Laserstrahles liegen. Dies kann z. B. durch geometrisch kurze Wege und/oder durch optische Abbildung erreicht werden. Dadurch kann sichergestellt werden, daß die gewünschte Isolationswirkung des optischen Isolators erreicht wird.

[0010] Insbesondere ist zwischen den beiden Polarisationsfiltern kein weiterer Polarisationsfilter vorge-

sehen. Es können jedoch phasenändernde Elemente, wie z. B. $\lambda/2$ -Platten und $\lambda/4$ -Platten oder entsprechende Beschichtungen vorgesehen sein.

[0011] Der Faraday-Rotator kann bei dem optischen Isolator insbesondere so ausgebildet sein, daß mittels des Reflektors das Faraday-Element auf sich selbst abgebildet wird. Damit wird in einfacher Art und Weise der Strahlengang im Faraday-Rotator so gefaltet, daß am Ort des Faraday-Elementes immer die gleichen Strahlparameter auftreten. Dies ist beispielsweise für die Kühlung von Vorteil, da dann das Faraday-Element so gekühlt werden kann, daß es z. B. eine möglichst homogene Temperaturverteilung aufweist. Insbesondere bei Strahlung mit kürzerer Rayleighlänge und hoher Divergenz ist eine abbildende Anordnung sehr vorteilhaft.

[0012] Bei dem erfindungsgemäßen optischen Isolator kann der Reflektor als Parabolspiegel oder Zylinderspiegel ausgebildet sein. Natürlich sind auch andere Spiegelformen möglich.

[0013] Ferner kann der Reflektor bei dem erfindungsgemäßen optischen Isolator als zweites scheibenförmiges Faraday-Element mit einer Vorderseite und einer reflektiven Rückseite ausgebildet sein, wobei der Faraday-Rotator so ausgebildet ist, daß der Laserstrahl zumindest einmal durch das zweite Faraday-Element läuft und an seiner Rückseite reflektiert wird.

[0014] So können z. B. die Vorderseiten der beiden Faraday-Elemente zueinander parallel ausgerichtet sein. Dadurch ist z. B. ein Strahlengang möglich, bei dem der Laserstrahl zwischen den beiden Faraday-Elementen hin und her reflektiert wird. Insbesondere ist ein tick-zack-förmiger Strahlengang möglich.

[0015] Ferner kann zwischen den beiden Faraday-Elementen ein zweiter Reflektor angeordnet sein, der den von dem ersten Faraday-Element kommenden Laserstrahl zum zweiten Faraday-Element hin umlenkt.

[0016] Insbesondere kann der zweite Reflektor als abbildender Reflektor ausgebildet sein. So kann er beispielsweise ein Parabol- oder Zylinderspiegel sein.

[0017] Ferner kann der zweite Reflektor alleine oder als Teil einer Spiegeloptik so ausgebildet sein, daß das erste Faraday-Element auf das zweite Faraday-Element abgebildet wird.

[0018] Ferner kann das zumindest eine Faraday-Element aus mehreren scheibenförmigen Faraday-Subelementen aufgebaut sein. Auch dadurch ist es möglich, kostensparend das gewünschte scheibenförmige Faraday-Element zur Verfügung zu stellen.

[0019] Der Reflektor des Faraday-Rotators kann auch als Facettenspiegel ausgebildet sein.

[0020] Bei dem optischen Isolator kann zwischen dem Eingangs- und Ausgangspolarisationsfilter und insbesondere innerhalb des Faraday-Rotators zumindest eine $\lambda/2$ -Platte und/oder zumindest eine $\lambda/4$ -Platte, durch die der einfallende Laserstrahl zumindest einmal hindurchläuft, vorgesehen sein. Damit ist ein Polarisationsmanagement möglich, das notwendig werden kann, wenn aufgrund der Reflexion am Reflektor und/oder aufgrund im Faraday-Rotator vorliegender Beschichtungen unerwünschte Änderungen des Polarisationszustandes auftreten.

[0021] Ferner kann bei dem optischen Isolator der Eingangspolarisationsfilter den einfallenden Laserstrahl in zumindest zwei Laserstrahlen mit unterschiedlichen Polarisationszuständen aufteilen, die durch den Faraday-Rotator laufen. Bei den zwei Polarisationszuständen kann es sich insbesondere um zueinander orthogonale Polarisationszustände handeln. Damit kann der optische Isolator auch für einen unpolarisierten Laserstrahl eingesetzt werden.

[0022] Die Aufteilung in die zumindest zwei Laserstrahlen wird mittels des Eingangspolarisationsfilters bevorzugt so durchgeführt, daß die aufgeteilten Laserstrahlen zueinander parallel verlaufen. Es ist jedoch auch möglich, daß sie nicht zueinander parallel verlaufen, sondern daß eine Winkelaufspaltung vorliegt.

[0023] Der Ausgangspolarisationsfilter kann so ausgebildet sein, daß er die aufgeteilten Laserstrahlen nach Durchlaufen des Faraday-Rotators wieder zu einem gemeinsamen Laserstrahl überlagert. Ferner kann der Ausgangspolarisationsfilter auch so ausgebildet sein, daß eine solche Überlagerung nicht stattfindet. In diesem Fall treten die aufgeteilten Laserstrahlen nach Durchlaufen des Faraday-Rotators als zueinander parallel oder nicht parallel verlaufende Laserstrahlen aus dem optischen Isolator aus.

[0024] Ferner wird ein Laser mit einer Laserquelle, die einen Laserstrahl abgibt, und einem erfindungsgemäßen optischen Isolator (einschließlich seiner Weiterbildungen) bereitgestellt, wobei der Laserstrahl der Laserquelle auf den optischen Isolator einfällt.

[0025] Der Laser kann insbesondere als Diodenlaser oder Faserlaser ausgebildet sein. Die mittlere Leistung des Lasers ist bevorzugt größer als 100 W und insbesondere bevorzugt größer als 1 kW.

[0026] Natürlich kann der erfindungsgemäße Laser noch weitere, dem Fachmann bekannte, für den Betrieb notwendige Elemente aufweisen.

[0027] Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in den angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung einsetzbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0028] Nachfolgend wird die Erfindung beispielsweise anhand der beigefügten Zeichnungen, die auch erfindungswesentliche Merkmale offenbaren, noch näher erläutert. Es zeigen:

[0029] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Isolators;

[0030] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Isolators;

[0031] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Isolators;

[0032] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung einer vierten Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Isolators;

[0033] [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung einer fünften Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Isolators;

[0034] [Fig. 6](#) eine schematische Darstellung einer sechsten Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Isolators;

[0035] [Fig. 7](#) eine schematische Darstellung einer siebten Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Isolators;

[0036] [Fig. 8](#) eine perspektivische Ansicht der Magnetanordnung 7 von [Fig. 1](#);

[0037] [Fig. 9](#) eine perspektivische Ansicht einer weiteren Ausführungsform der Magnetanordnung 7 von [Fig. 1](#);

[0038] [Fig. 10A](#) eine Weiterbildung der Magnetanordnung von [Fig. 8](#);

[0039] [Fig. 10B](#) eine Schnittansicht der Magnetanordnung 7 von [Fig. 10A](#);

[0040] [Fig. 11](#) eine Weiterbildung einer Magnetanordnung 7 von [Fig. 9](#);

[0041] [Fig. 12](#) eine Schnittansicht zur Erläuterung einer Abwandlung der Magnetanordnung 7 von [Fig. 1](#);

[0042] [Fig. 13](#) eine Schnittansicht zur Erläuterung einer Abwandlung der Magnetanordnung 7 von [Fig. 10B](#);

[0043] [Fig. 14A–Fig. 14D](#) Ansichten zur Erläuterung der Temperaturverteilung im Faraday-Element 5;

[0044] [Fig. 15A–Fig. 15D](#) Ansichten zur Erläuterung der Temperaturverteilung im Faraday-Element 5 bei einem gaußförmigen Profil des Laserstrahls 15;

[0045] [Fig. 16A–Fig. 16D](#) eine Abwandlung der Wärmesenke 6 im Vergleich zur Darstellung von [Fig. 15A–Fig. 15D](#);

[0046] [Fig. 17–Fig. 19](#) Darstellungen des optischen Isolators von [Fig. 1](#) zur Erläuterung des durchzuführenden Polarisationsmanagements, und

[0047] [Fig. 20](#) eine Darstellung der Verwendung des erfindungsgemäßen optischen Isolators für unpolarisierte Laserstrahlung.

[0048] Bei der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform umfaßt der erfindungsgemäße optische Isolator 1 einen Eingangspolarisationsfilter 2, einen Ausgangspolarisationsfilter 3 sowie einen zwischen beiden Filtern 2, 3 angeordneten Faraday-Rotator 4.

[0049] Der Faraday-Rotator 4 umfaßt ein scheibenförmiges Faraday-Element 5, das aus einem Faraday-aktiven Material (wie z. B. Terbium-Gallium-Granat) hergestellt ist, eine Wärmesenke 6, auf der das Faraday-Element 5 liegt, sowie eine Magnetanordnung 7 mit einem hohlzylinderförmigen ersten Magneten 8 und einem darin eingesetzten zweiten Magneten 9, der zylinderförmig ausgebildet ist. Die in den Magneten eingezeichneten Pfeile zeigen in Richtung vom Nord- zum Südpol.

[0050] Ferner umfaßt der Faraday-Rotator 4 einen Parabolspiegel 10, der das Faraday-Element 5 auf sich selbst abbildet, sowie drei Umlenkelemente 11, 12 und 13.

[0051] Das Faraday-Element 5 ist so ausgebildet, daß seine auf der Wärmesenke 6 liegende Rückseite 14 verspiegelt ist, so daß der zugeführte Laserstrahl 15 durch die Vorderseite 16 (die bevorzugt eine Antireflexionsbeschichtung aufweist) des Faraday-Elementes 5 in das Faraday-Element 5 eintritt und an der Rückseite 14 reflektiert wird. Bei der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform wird mittels der Umlenkelemente 11 und 12 und des Parabolspiegels 10 erreicht, daß der Laserstrahl 15 mehrmals durch das Faraday-Element 5 hindurchläuft, wobei in [Fig. 1](#) zwei Durchgänge eingezeichnet sind. Natürlich kann der optische Isolator auch so ausgebildet sein, daß der Laserstrahl 15 mehr als zweimal durch das Faraday-Element 5 hindurchläuft. So können z. B. 6–10 Durchgänge be-

wirkt werden. Dies gilt auch für alle noch nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen.

[0052] Die Magnetanordnung **7** ist so gewählt, daß das Magnetfeld im Bereich des Faraday-Elementes **5** bevorzugt parallel zur Richtung des Pfeils P1 verläuft, so daß aufgrund des Faraday-Effektes die gewünschte Drehung der Polarisationsrichtung durchgeführt wird. Dadurch kann dann der Laserstrahl **15** durch den Ausgangspolarisationsfilter **3** hindurch verlaufen.

[0053] So können beispielsweise beide Polarisationsfilter **2** und **3** für linear polarisiertes Licht transmissiv sein, wobei sie so angeordnet sind, daß die Polarisationsrichtungen der Filter **2**, **3** um 45° zueinander verdreht sind. Der Faraday-Rotator **4** ist daher so ausgelegt, daß die Polarisationsrichtung des einfallenden Laserstrahls **15** nach Durchlaufen des Rotators um 45° gedreht ist. Nachdem der Drehsinn des Faraday-Effektes richtungsunabhängig ist, wird ein Laserstrahl, der entgegengesetzt durch den Faraday-Rotator **4** verläuft, in bekannter Weise nicht durch den Eingangspolarisationsfilter **2** aus dem Isolator **1** austreten. Somit wird die gewünschte optische Funktion verwirklicht, daß Laserstrahlung nur in einer Richtung durch den Isolator **1** laufen kann.

[0054] Der erfindungsgemäße optische Isolator **1** wird bevorzugt zusammen mit einer Laserquelle (nicht gezeigt) verwendet und dient dazu, unerwünschte Reflexionen des Laserstrahls zurück in die Laserquelle zu verhindern, da solche Rückreflexionen zu Schwankungen der Ausgangsleistung des Lasers bis hin zur Zerstörung des Lasers führen können. Insbesondere Diodenlaser und Faserlaser sind aufgrund ihrer häufig sehr hohen Verstärkungsfaktoren in Kombination mit den sehr kleinen Strahlquerschnitten im Vergleich zu anderen Laserkonzepten sehr empfindlich gegen solche unerwünschten Rückreflexionen.

[0055] Bei der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform beträgt die Dicke des Faraday-Elementes **5** (also der Abstand zwischen Vorder- und Rückseite **16**, **14**) ca. 1 mm. Es werden daher sechs bis acht Durchgänge des Laserstrahls **15** durch das Faraday-Element **5** benötigt, wobei zur Vereinfachung der Darstellung lediglich zwei Durchgänge eingezeichnet sind. Das Faraday-Element **5** ist scheibenförmig mit kreisförmiger Außenkontur ausgebildet und weist bevorzugt einen Durchmesser im Bereich von 5 bis 6 mm auf.

[0056] Aufgrund der scheibenartigen Ausbildung des Faraday-Elementes **5** kann eine ausgezeichnete Wärmeabfuhr über die Wärmesenke **6** erreicht werden. Der optische Isolator **1** ist insbesondere so ausgebildet, daß die einzelnen Durchgänge des Laserstrahls **15** durch das Faraday Element **5** optisch nah stattfinden. Hierunter wird verstanden, daß sie inner-

halb der Rayleigh-Länge des Laserstrahles **15** liegen (die Rayleigh-Länge ist die Distanz von der Strahlteile des Laserstrahls entlang der Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls bis zu dem Punkt, an dem die Querschnittsfläche des Laserstrahls doppelt so groß ist im Vergleich zur Querschnittsfläche an der Strahlteile). Der in **Fig. 1** gezeigte optischer Isolator ist für hohe mittlere Leistungen geeignet, insbesondere für mittlere Leistungen, die größer als 100 W sind.

[0057] In **Fig. 2** ist eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Isolators **1** gezeigt, bei der wiederum das Faraday-Element **5** in sich selbst mittels des Parabolspiegels **10** abgebildet wird. Gleiche oder ähnliche Elemente im Vergleich zu der Ausführungsform von **Fig. 1** sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Lediglich der Ausgangspolarisationsfilter ist in **Fig. 2** nicht dargestellt, da die Auskopplung aus der Zeichenebene heraus erfolgt, so daß der Strahlengang nach Umlenkung am dritten Umlenkelement **13** nicht mehr dargestellt ist.

[0058] Der Spiegel **10** kann auch als Zylinderspiegel ausgebildet sein, wodurch in vorteilhafter Weise im Vergleich zu der Ausführungsform mit dem Parabolspiegel die Leistungsdichten des Laserstrahles **15** auf den Umlenkelementen **11**, **12** verringert sind.

[0059] Anstatt den in **Fig. 2** gezeigten Umlenkspiegeln **11**, **12** kann auch ein Umlenkprisma verwendet werden.

[0060] Bei den in **Fig. 1** und **Fig. 2** gezeigten Ausführungsformen läuft der Laserstrahl **15** jeweils zweimal durch das Faraday-Element **5**. Natürlich können die Faraday-Rotatoren **4** auch so ausgebildet werden, daß der Laserstrahl **15** mehr als zweimal durch das Faraday-Element **5** läuft.

[0061] In **Fig. 3** ist wiederum eine abbildende Ausbildung zur Strahlengangfaltung beim Faraday-Rotator **4** vorgesehen, wobei diese Ausführungsform zwei Faraday-Elemente **5** und **5'** aufweist, die jeweils auf einer eigenen Wärmesenke **6** und **6'** sowie einer entsprechenden eigenen Magnetanordnung **7** und **7'** angeordnet sind. Der Aufbau der Wärmesenke **6'** und der Magnetanordnung **7'** kann gleich sein wie bei der Wärmesenke **6** und der Magnetanordnung **7**. Zur Vereinfachung der Darstellung sind in **Fig. 3** sowie in den nachfolgenden Darstellungen die Filter **2**, **3** nicht eingezeichnet.

[0062] Es finden an jedem Faraday-Element **5**, **5'** des Rotators **4** von **Fig. 3** zwei Durchgänge statt, so daß der eingekoppelte Laserstrahl **15** insgesamt viermal durch die beiden Faraday-Elemente **5** und **5'** läuft. Die beiden Spiegel **10** und **10'** bilden die beiden Faraday-Elemente **5** und **5'** aufeinander ab. Dazu kann mit den Spiegeln **10** und **10'** eine 4f-Abbildung realisiert sein, wobei die Spiegel **10**, **10'** leicht ver-

kippt sind, um die beschriebenen Mehrfachdurchgänge durch die Faraday-Elemente **5**, **5'** zu erzeugen. Natürlich kann eines der beiden Faraday-Elemente **5**, **5'** durch einen Umlenkspiegel (nicht gezeigt) ersetzt werden. In diesem Fall kann die dem entfallenen Faraday-Element **5**, **5'** zugeordnete Magnetanordnung **7** bzw. **7'** weggelassen werden.

[0063] Bei den bisherigen Ausführungsbeispielen wurden jeweils Spiegel **10**, **10'** für die Abbildung eingesetzt. Es ist jedoch auch eine Abbildung mittels Linsen oder mittels einer Kombination von zumindest einem abbildenden Spiegel mit zumindest einer Linse möglich.

[0064] In **Fig. 4** ist eine Ausführungsform des Faraday-Rotators **4** gezeigt, bei der keine Abbildung durchgeführt wird. Es sind zwei Faraday-Elemente **5** und **5'** zueinander parallel ausgerichtet und voneinander beabstandet, wobei ihre Vorderseiten **16**, **16'** einander zugewandt sind. Aufgrund des ersten Umlenkelementes **11** wird der Laserstrahl **15** zwischen beiden Faraday-Elementen **5** und **5'** zick-zackförmig hin und her reflektiert, wobei in dem dargestellten Beispiel insgesamt sechs Durchgänge durch die beiden Faraday-Elemente **5** und **5'** stattfinden. Die Magnetanordnung **7** und **7'** sowie die Wärmesenke **6** und **6'** sind in gleicher Weise wie bei den bereits beschriebenen Ausführungsbeispielen ausgebildet. Das zweite Umlenkelement **12** ist so angeordnet, daß der ausfallende Laserstrahl parallel zum einfallenden Laserstrahl **15** verläuft.

[0065] In **Fig. 5** ist eine Abwandlung des Faraday-Rotators **4** von **Fig. 4** gezeigt. Bei dieser Abwandlung weisen die Magnetanordnungen **7** und **7'** jeweils einen zusätzlichen Magneten **17** und **17'** auf, um eine höhere Magnetflußdichte im Bereich der Faraday-Elemente **5**, **5'** zu erreichen.

[0066] Bei der in **Fig. 6** gezeigten Abwandlung des Faraday-Rotators **4** von **Fig. 5** sind die Faraday-Elemente **5** und **5'** wiederum parallel zueinander ausgerichtet. Jedoch sind sie nicht mehr parallel zum einfallenden Laserstrahl, sondern gegenüber diesem etwas geneigt, so daß auf die Umlenkelemente **11** und **12** verzichtet werden kann. Auch hier findet wiederum ein zick-zack-förmiger Strahlenverlauf statt, wobei insgesamt sechs Durchläufe durch die beiden Faraday-Elemente **5** und **5'** erfolgen.

[0067] Die Faraday-Elemente **5** und **5'** müssen nicht einstückig sein. Es ist auch möglich, daß für jeden optischen Durchgang ein separates Faraday-Subelement vorgesehen ist, so daß mehrere Faraday-Subelemente dann jeweils das entsprechende Faraday-Element **5** bzw. **5'** in **Fig. 4**, **Fig. 5** oder **Fig. 6** bilden.

[0068] In **Fig. 7** ist eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Faraday-Rotators **4** gezeigt. Bei

dieser Ausführungsform sind sechs Umlenkelemente **18** und **19** so angeordnet, daß der einfallende Laserstrahl **15** zweimal durch das Faraday-Element **5** hindurchläuft. Die Umlenkelemente **18**, **19** sind als Planspiegel ausgebildet, wobei die Planspiegel **18** als Facettenspiegel bezeichnet werden können.

[0069] Die Magnetanordnung **7** im Faraday-Rotator **4** von **Fig. 1** weist, wie bereits beschrieben wurde, einen hohlzylinderförmigen ersten Magneten **8** sowie einen darin eingesetzten zweiten Magneten **9** auf, der zylinderförmig ausgebildet ist, wie in der schematischen perspektivischen Darstellung von **Fig. 8** ersichtlich ist. Durch diese runde Ausbildung der Magnete **8**, **9** kann quasi ein ideal rotations-symmetrisches Magnetfeld erzeugt werden. Die Magneten **8** und **9** können als starke Permanentmagnete ausgebildet sein, so daß eine hohe magnetische Flußdichte im Bereich des Faraday-Elementes **5** vorliegt, wobei diese Flußdichte äußerst konstant ist über das gesamte Faraday-Element **5**.

[0070] In **Fig. 9** sind quaderförmige Magnete vorgesehen, um den gewünschten Magnetfluß für das Faraday-Element **5** zu erzielen.

[0071] In **Fig. 10A** ist eine Weiterbildung der Magnetanordnung **7** von **Fig. 8** gezeigt, bei der noch ein zusätzlicher Magnet **26** vorgesehen ist, um das Magnetfeld im Bereich des Faraday-Elementes **5** zu erhöhen, wie insbesondere der entsprechenden Schnittansicht in **Fig. 10B** zu entnehmen ist. Auch diese Magnetanordnung **7** läßt sich mittels quaderförmiger Magnete realisieren, wie in der schematischen Darstellung gemäß **Fig. 11** ersichtlich ist.

[0072] In **Fig. 12** ist eine Abwandlung der Magnetanordnung **7** gemäß **Fig. 1** dargestellt, bei der anstatt des zweiten Magneten **9** ein zylinderförmiges ferromagnetisches Element **27** angeordnet ist.

[0073] In **Fig. 13** ist die entsprechende Abwandlung der Magnetanordnung **7** von **Fig. 10A** und **Fig. 10B** gezeigt. Auch hier ist der zweite Magnet **9** durch das ferromagnetische Element **27** ersetzt.

[0074] Natürlich können die beschriebenen Permanentmagneten durch Elektromagneten ersetzt werden. Auch eine Kombination von Permanentmagneten mit Elektromagneten ist möglich.

[0075] Durch die scheibenartige Ausbildung des Faraday-Elementes **5** kann eine ausgezeichnete Kühlung über die Wärmesenke **6** erreicht werden. Dies ist wichtig, da je höher die Temperaturdifferenz zwischen der Strahlmitte und dem Strahlrand des Laserstrahles **15** ist, desto größer ist die optische Weglängendifferenz zwischen Rand und Mitte und damit die thermisch induzierte Linse, die unerwünscht ist. Bei dem scheibenförmig ausgebildeten Faraday-Element

5 nimmt die Temperaturdifferenz mit zunehmendem Strahldurchmesser ab, da die Strecke, über die die Wärme im Idealfall des eindimensionalen Wärmeflusses in Richtung von der Vorderseite **16** des Faraday-Elementes **5** zu seiner Rückseite **14** abgeführt wird, sich nicht ändert (die Strecke entspricht somit dem Abstand zwischen Vorder- und Rückseite **16**, **14**), wohingegen die pro Volumen eingebrachte Wärmemenge sich reduziert. Selbst bei einem nicht idealen und somit nicht vollständigen eindimensionalen Wärmefluß ändert sich die Strecke, über die die Wärme abgeführt wird, nur wenig (es kommen noch Anteile quer zur Richtung von Vorderseite **16** hin zur Rückseite **14** hinzu), so daß auch dann die Temperaturdifferenz mit zunehmendem Strahldurchmesser abnimmt, wenn auch etwas weniger als Idealfall des eindimensionalen Wärmeflusses.

[0076] Um nun die eingebrachte Wärmemenge pro Volumen zu verringern, kann der Strahldurchmesser skaliert werden und/oder kann die Leistung auf mehrere Faraday-Elemente **5** verteilt werden, wodurch eine Verringerung der Anzahl der Durchgänge pro Faraday-Element **5** erreicht wird. Natürlich steigt der Preis und der Aufwand für größere Faraday-Elemente **5** und für die entsprechenden zu erzeugenden Magnetfelder.

[0077] Ferner ist es möglich, die Wärmesenke **6** an das Strahlprofil des Laserstrahls **5** so anzupassen, daß eine möglichst homogene radiale Temperaturverteilung (also quer zur optischen Achse bzw. quer zur Richtung von Vorderseite **16** hin zur Rückseite) innerhalb des Faraday-Elementes **5** entsteht.

[0078] In [Fig. 14A](#) ist schematisch das Faraday-Element **5** sowie die Wärmesenke **6** gezeigt. Es wird angenommen, daß der durch das Faraday-Element **5** laufenden Laserstrahl **15** eine rechteckförmige Intensitätsverteilung (Top-Hat-Verteilung) aufweist, wie in [Fig. 14B](#) schematisch dargestellt ist. Bei einem Wärmewiderstand R gemäß [Fig. 14C](#) ergibt sich der in [Fig. 14D](#) gezeigte Temperaturverlauf T innerhalb des Faraday-Elementes **5**.

[0079] Wenn nun der Intensitätsverlauf des Laserstrahles gaußförmig ist, wie in [Fig. 15B](#) dargestellt ist, ergibt sich bei dem Wärmewiderstand R gemäß [Fig. 15C](#) der in [Fig. 15D](#) gezeigte Temperaturverlauf T . Für diesen Fall kann die Wärmesenke, wie in [Fig. 16A](#) gezeigt ist, angepaßt werden (mit einem mittleren Abschnitt **62** und einem diesen umgebenden Abschnitt **61**, dessen Wärmeleitfähigkeit kleiner ist als die des mittleren Abschnittes **62**), was zu einem anderen Wärmewiderstandsverlauf führt ([Fig. 16C](#)), wodurch sich der in [Fig. 16D](#) gezeigte Temperaturverlauf im Faraday-Element **5** ergibt.

[0080] Die Wärmesenke **6** kann somit so an das Strahlprofil und die spezifischen Parameter des Fa-

raday-Elementes **5** (wie z. B. seine geometrischen Abmessungen) angepaßt werden, daß eine möglichst gleichmäßige radiale Temperaturverteilung erzielt wird.

[0081] Bei der bisherigen Beschreibung wurde unterstellt, daß lediglich beim Durchgang durch das Faraday-Element **5**, **5'** eine Änderung der Polarisationsrichtung des Laserstrahls **15** aufgrund des Faraday-Effektes auftritt. Tatsächlich kann es einerseits durch die geometrische Anordnung der Umlenkelemente innerhalb des Rotators **4** zu Änderungen der Polarisationsrichtung kommen. Andererseits können (z. B. dielektrische) Beschichtungen auf Elementen des Faraday-Rotators **4** die Polarisationsrichtung ändern. So kann beispielsweise auf der Vorderseite **16** des Faraday-Elementes **5** eine Antireflexionsbeschichtung und auf den Spiegeln **10**, **10'**, **11**, **12**, **18**, **19** und/oder auf der Rückseite **14** eine hochreflektierende Beschichtung vorgesehen sein.

[0082] In [Fig. 17](#) ist nun für die Ausführungsform von [Fig. 1](#) gezeigt, daß aufgrund der beiden Umlenkspiegel **11** und **12** bei zweimaligem Durchgang durch das Faraday-Element **5** keine Änderung der linearen Polarisationsrichtung des einfallenden Laserstrahles **15** erzeugt wird. Die Richtung der linearen Polarisation ist für die einzelnen Strahlabschnitte jeweils durch die Doppelpfeile dargestellt. Daraus ergibt sich, daß keine Isolation durch den Faraday-Isolator erreicht werden kann, da sowohl in Vorwärts- als auch in Rückwärtsrichtung keine Polarisationsdrehung erfolgt.

[0083] Zur Lösung dieser Problematik kann z. B. die in [Fig. 18](#) dargestellte $\lambda/2$ -Platte **28** vorgesehen werden, so daß sich die Drehungen der Polarisationsrichtung bei den einzelnen Durchgängen durch das Faraday-Element **5** addieren und nicht mehr aufheben, wie dies bei [Fig. 17](#) der Fall war. Natürlich muß keine $\lambda/2$ -Platte **28** vorgesehen werden. Es kann die notwendige Drehung der Polarisationsrichtung z. B. auch durch eine spezielle Spiegelbeschichtung erreicht werden.

[0084] Aufgrund einer auf dem Reflektor **10** und der Rückseite **14** des Faraday-Elementes **5** ausgebildeten hochreflektierenden Beschichtung tritt eine Phasenverschiebung zwischen dem senkrecht und dem parallel zur Einfallsebene polarisierten Strahlanteil des Laserstrahles **15** auf, so daß die lineare Polarisation abhängig vom Winkel der Polarisation zur Einfallsebene in eine elliptische Polarisation überführt wird, wie in [Fig. 19](#) schematisch angedeutet ist. Durch die Anordnung einer $\lambda/4$ -Platte zwischen dem Umlenkelement **13** und dem Ausgangspolarisationsfilter **3** kann dieser elliptische Anteil wieder in einen linearen Polarisationsanteil überführt werden, so daß der gewünschte Polarisationszustand vorliegt und der Laserstrahl durch den Ausgangspo-

larisationsfilter **3** aus dem Faraday-Rotator **4** austreten kann.

[0085] Das in Verbindung mit [Fig. 17](#) bis [Fig. 19](#) beschriebene Polarisationsmanagement kann natürlich auch bei der Ausführungsform von [Fig. 2](#) angewendet werden. Bei der Anordnung gemäß [Fig. 3](#) kann es Fälle geben, bei denen kein Polarisationsmanagement notwendig ist. Auch bei den Anordnungen gemäß [Fig. 5](#) bis [Fig. 7](#) ist in der Regel kein Polarisationsmanagement notwendig. Da es jedoch stets vom konkreten Aufbau einschließlich der verwendeten Beschichtungen abhängt, ob ein Polarisationsmanagement notwendig ist, wird erfindungsgemäß bei jeder Ausführungsform ermittelt, ob polarisationsdrehende Elemente (wie z. B. eine $\lambda/2$ -Platte und/oder eine $\lambda/4$ -Platte) innerhalb des Faraday-Rotators vorgesehen werden müssen oder nicht.

[0086] Bei den bisher beschriebenen Ausführungsformen wurde davon ausgegangen, daß der einfallende Laserstrahl **15** so polarisiert ist, daß er durch den Eingangspolarisationsfilter **2** hindurchläuft und nicht von diesem blockiert wird. Der erfindungsgemäße optische Isolator **1** kann jedoch auch für unpolarisierte Strahlung eingesetzt werden. In diesem Fall wird der Laserstrahl **15**, wie in [Fig. 20](#) schematisch dargestellt ist, zunächst durch den Eingangspolarisationsfilter **2** geleitet, der bei dieser Ausführungsform den Laserstrahl **15** in zwei zueinander parallel versetzte Laserstrahlen **151** und **152** mit zueinander orthogonalen Polarisationszuständen aufteilt. Diese beiden parallelen Laserstrahlen **151** und **152** werden durch den Faraday-Rotator **4** geleitet und treffen danach auf den Ausgangspolarisationsfilter **3**, der die beiden parallelen Laserstrahlen **151'** und **152'**, die aus dem Rotator **4** austreten, zu einem gemeinsamen Laserstrahl **15'** überlagern. Natürlich kann der Ausgangspolarisationsfilter **3** auch so gestaltet werden, daß zwei Strahlen den Isolator verlassen, falls die Überlagerung der Laserstrahlen **151'** und **152'** nicht gewünscht ist.

[0087] Die Polarisationsfilter **2** und **3** können in üblicher Weise ausgebildet sein. Insbesondere können doppelbrechende Kristalle oder sonstige Anordnungen eingesetzt werden, um die beschriebene Aufspaltung in zwei parallele Laserstrahlen **151** und **152** zu bewirken. Die Aufspaltung in die beiden parallelen Laserstrahlen **151** und **152** ist insbesondere für die Ausführungsformen des optischen Rotators **4** gemäß [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) sowie [Fig. 4](#) bis [Fig. 7](#) geeignet.

[0088] Der Eingangspolarisationsfilter **2** kann auch so ausgebildet sein, daß die beiden Laserstrahlen **151** und **152** mit den orthogonalen Polarisationszuständen nicht parallel zueinander verlaufen. In diesem Fall der Winkelaufspaltung der beiden Laserstrahlen **151** und **152** wird bevorzugt der Faraday-Rotator **4** gemäß der Ausführungsform von [Fig. 3](#) ver-

wendet. Natürlich ist der Ausgangspolarisationsfilter **3** dann so ausgelegt, daß die aus dem Rotator **4** ausfallenden Laserstrahlen, die nicht parallel sind, wieder zu dem gemeinsamen Laserstrahlenbündel **15'** überlagert werden können, wenn dies gewünscht ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 5115340 [\[0003\]](#)

Patentansprüche

1. Optischer Isolator mit einem Eingangspolarisationsfilter (2), einem Ausgangspolarisationsfilter (3), und einem zwischen beiden Filtern (2, 3) angeordneten Faraday-Rotator (4), der zumindest ein scheibenförmiges Faraday-Element (5, 5'), das eine Vorderseite (16, 16') und eine reflektive Rückseite (14, 14') umfaßt sowie den Faraday-Effekt zeigt, einen von der Vorderseite (16, 16') beabstandeten Reflektor (10, 10', 5') sowie einen Magneten (7, 7') aufweist, wobei ein durch den Eingangspolarisationsfilter (2) einfallender Laserstrahl (15) aufgrund zumindest einer Reflexion am Reflektor (10, 10', 5') mehrmals von der Vorderseite (16, 16') durch das zumindest eine Faraday-Element (5, 5') läuft und an seiner Rückseite (14) reflektiert wird.

2. Optischer Isolator nach Anspruch 1, bei dem der Faraday-Rotator (4) so ausgebildet ist, daß die einzelnen Durchgänge des Laserstrahles (15) durch das zumindest eine Faraday-Element (5, 5') innerhalb der Rayleigh-Länge des Laserstrahles (15) liegen.

3. Optischer Isolator nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zwischen, den beiden Polarisationsfiltern (2, 3) kein weiterer Polarisationsfilter vorgesehen ist.

4. Optischer Isolator nach einem der obigen Ansprüche, bei dem mittels des Reflektors (10) das Faraday-Element (5) auf sich selbst abgebildet wird.

5. Optischer Isolator nach einem der obigen Ansprüche, bei dem der Reflektor (10, 10') als Parabolspiegel ausgebildet ist.

6. Optischer Isolator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem der Reflektor (5') als zweites scheibenförmiges Faraday-Element (5') mit einer Vorderseite (16') und einer reflektiven Rückseite (14') ausgebildet ist und der Laserstrahl (15) zumindest einmal durch das zweite Faraday-Element (5') läuft und an seiner Rückseite (14') reflektiert wird.

7. Optischer Isolator nach Anspruch 6, bei dem die Vorderseiten (16, 16') der beiden Faraday-Elemente (5, 5') zueinander parallel ausgerichtet sind.

8. Optischer Isolator nach Anspruch 6 oder 7, bei dem zwischen den beiden Faraday-Elementen (5, 5') ein zweiter Reflektor (10, 10') angeordnet ist, der den von dem ersten Faraday-Element (5) kommenden Laserstrahl (15) zum zweiten Faraday-Element (5') hin umlenkt.

9. Optischer Isolator nach Anspruch 8, bei dem der zweite Reflektor (10, 10') als abbildender Reflektor ausgebildet ist.

10. Optischer Isolator nach Anspruch 8 oder 9, bei dem mittels des zweiten Reflektors (10, 10') das erste Faraday-Element (5) auf das zweite Faraday-Element (5') abgebildet wird.

11. Optischer Isolator nach einem der obigen Ansprüche, bei dem das zumindest eine Faraday-Element (5, 5') aus mehreren scheibenförmigen Faraday-Subelementen aufgebaut ist.

12. Optischer Isolator nach einem der obigen Ansprüche 1 bis 3, bei dem der Reflektor als Facetten Spiegel (18) ausgebildet ist.

13. Optischer Isolator nach einem der obigen Ansprüche, bei dem zwischen Eingangs- und Ausgangspolarisationsfilter (2, 3) eine $\lambda/2$ -Platte und/oder eine $\lambda/4$ -Platte, durch die der einfallende Laserstrahl (15) zumindest einmal hindurch läuft, vorgesehen ist.

14. Optischer Isolator nach einem der obigen Ansprüche, bei dem der Eingangspolarisationsfilter (2) den einfallenden Laserstrahl (15) in zumindest zwei Laserstrahlen (151, 152) mit unterschiedlichen Polarisationszuständen aufteilt, die durch den Faraday-Rotator (4) laufen.

15. Laser mit einer Laserquelle, die einen Laserstrahl (15) abgibt, und einem optischen Isolator (1) nach einem der obigen Ansprüche, auf den der abgegebene Laserstrahl (15) einfällt.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

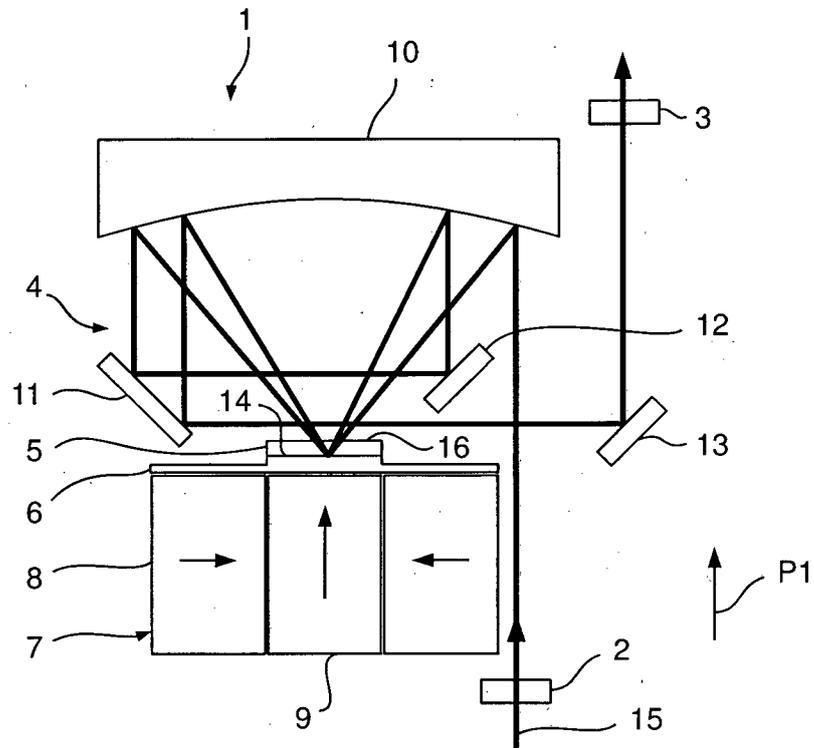


Fig. 2

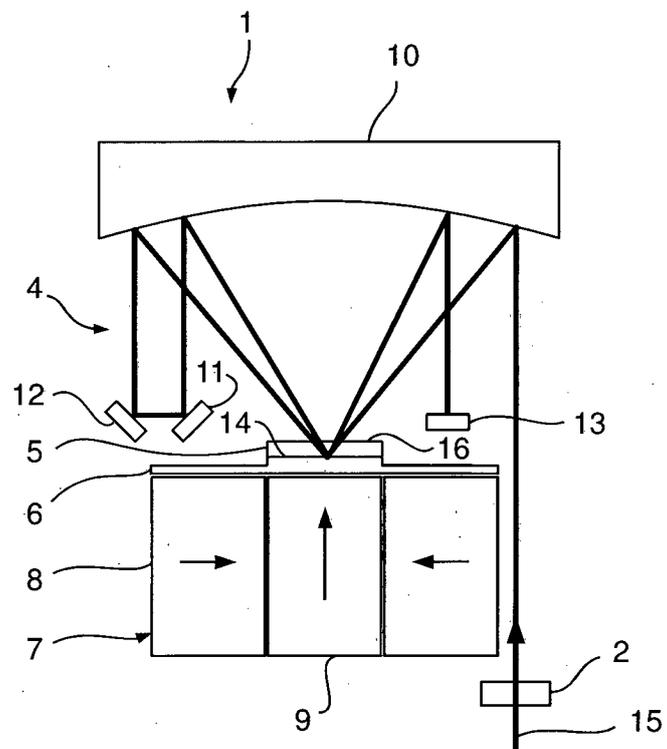


Fig. 3

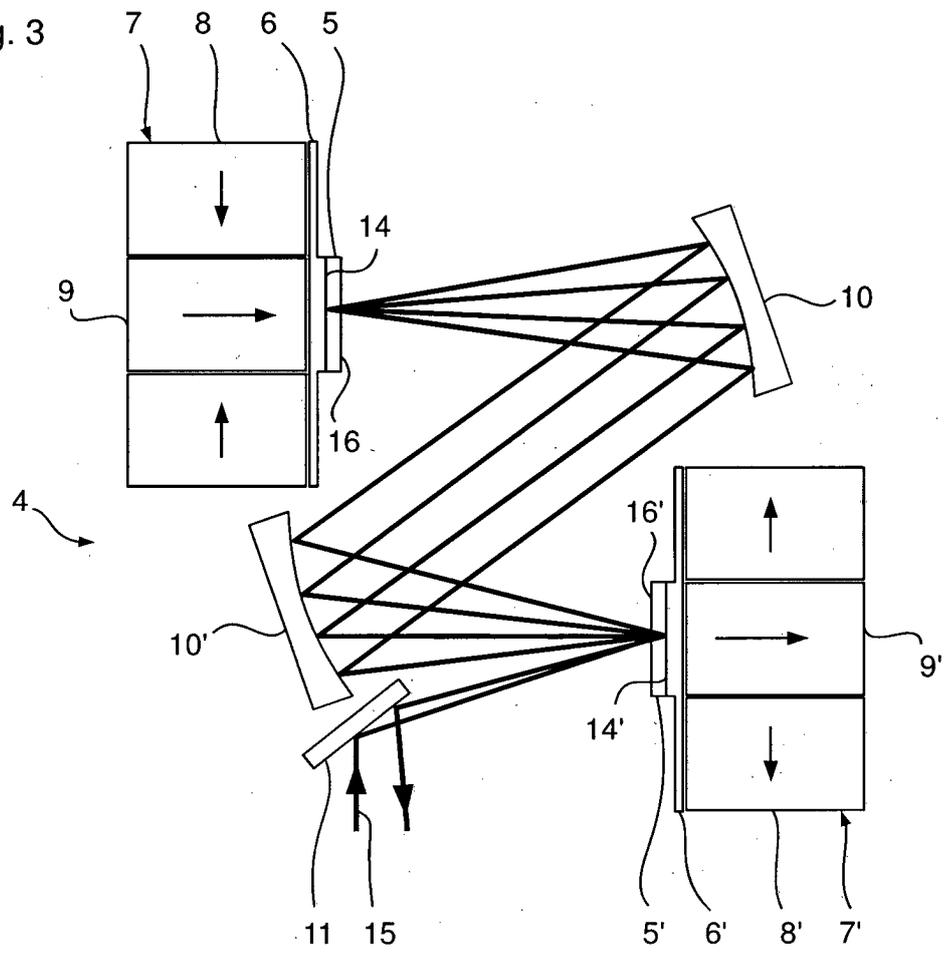


Fig. 4

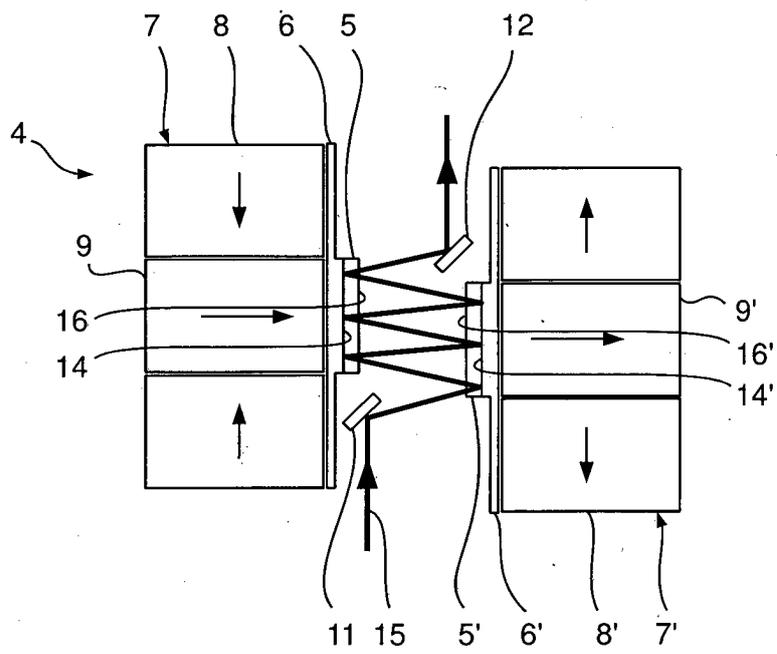


Fig. 5

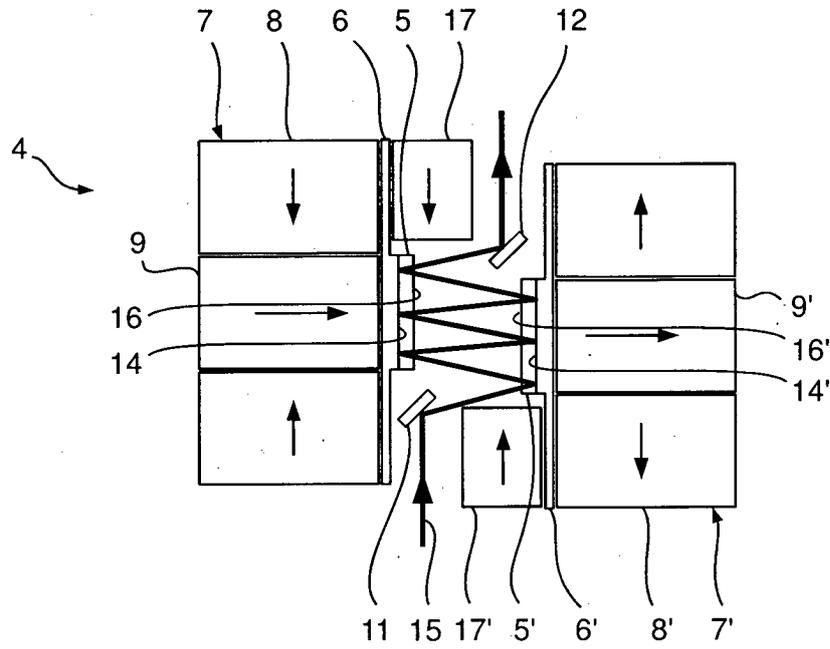


Fig. 6

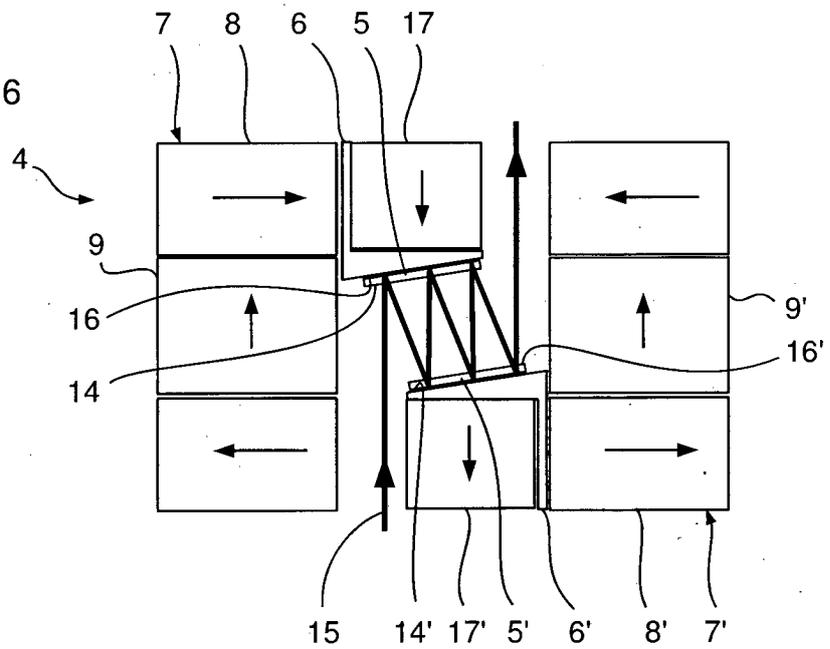


Fig. 7

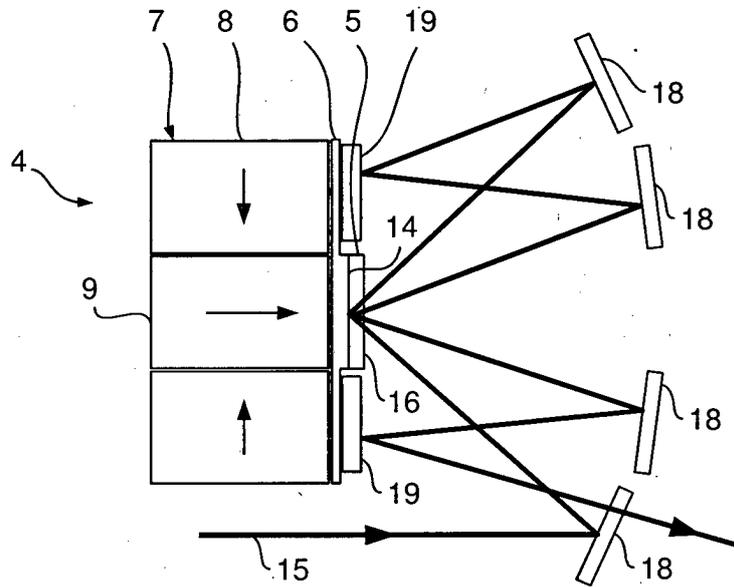


Fig. 8

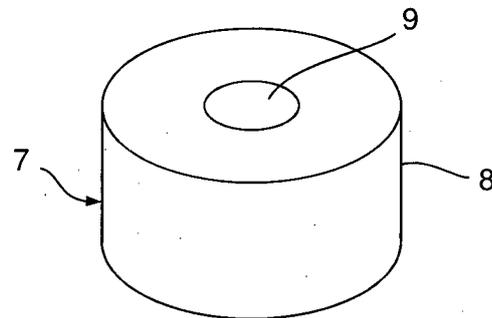


Fig. 9

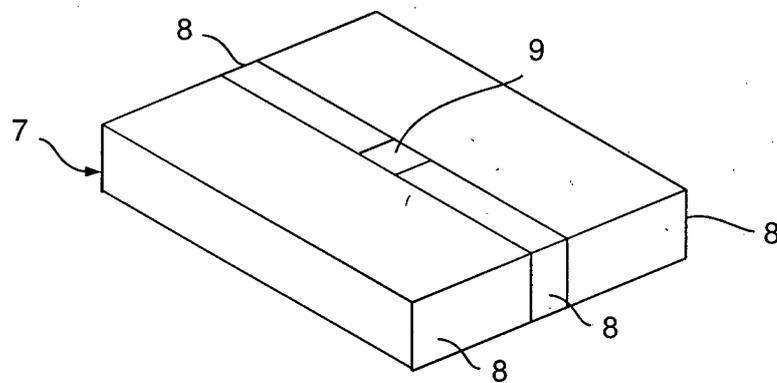


Fig. 10A

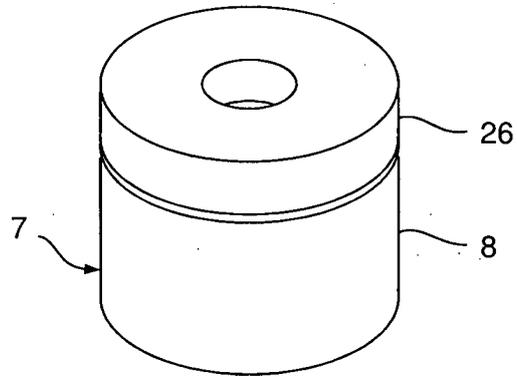


Fig. 10B

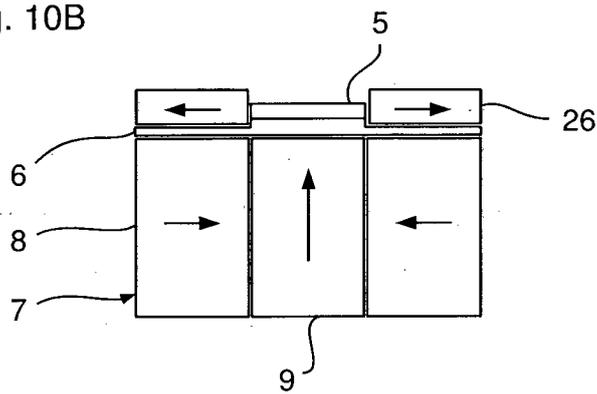


Fig. 11

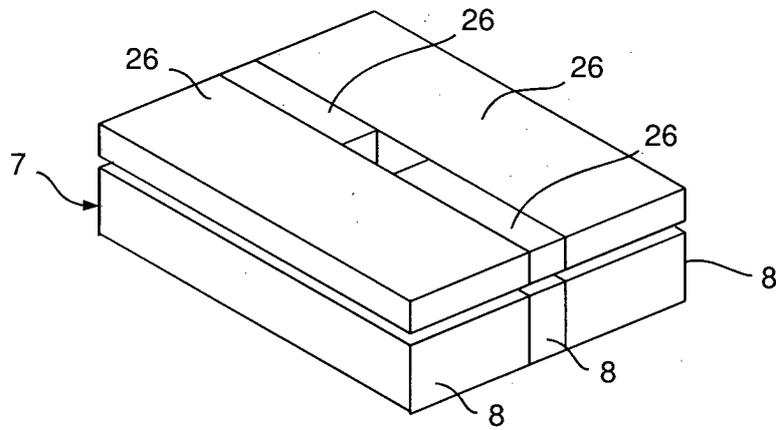


Fig. 12

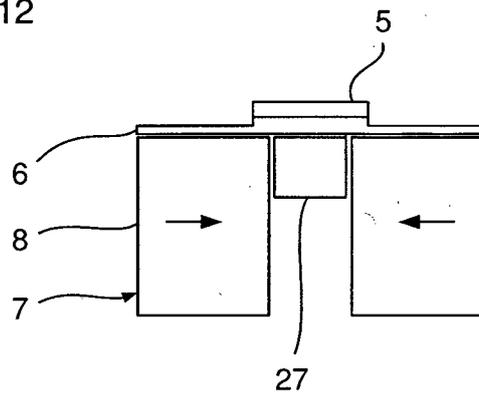


Fig. 13

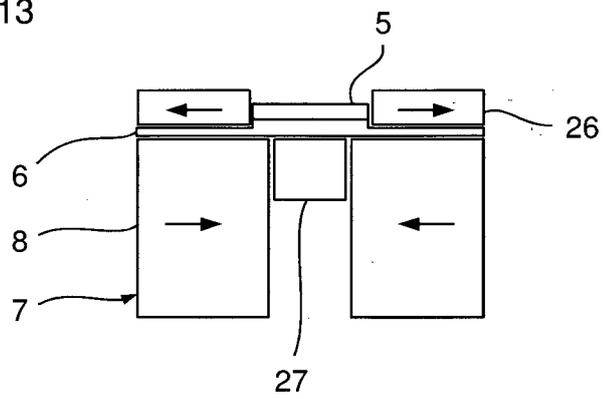


Fig. 14A

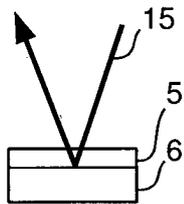


Fig. 15A

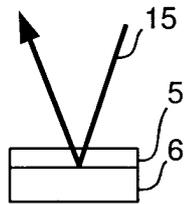


Fig. 16A

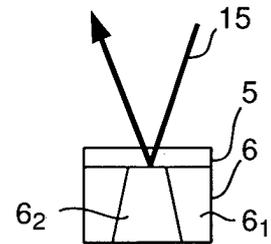


Fig. 14B

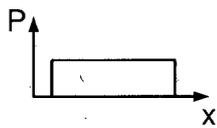


Fig. 15B

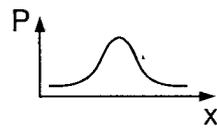


Fig. 16B

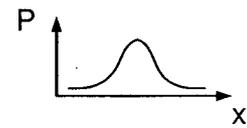


Fig. 14C

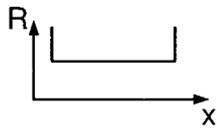


Fig. 15C

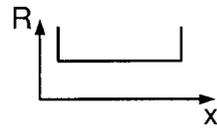


Fig. 16C

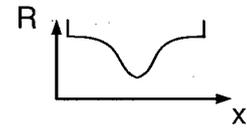


Fig. 14D

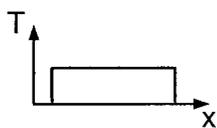


Fig. 15D

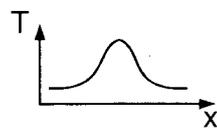


Fig. 16D

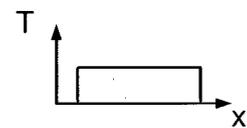


Fig. 17

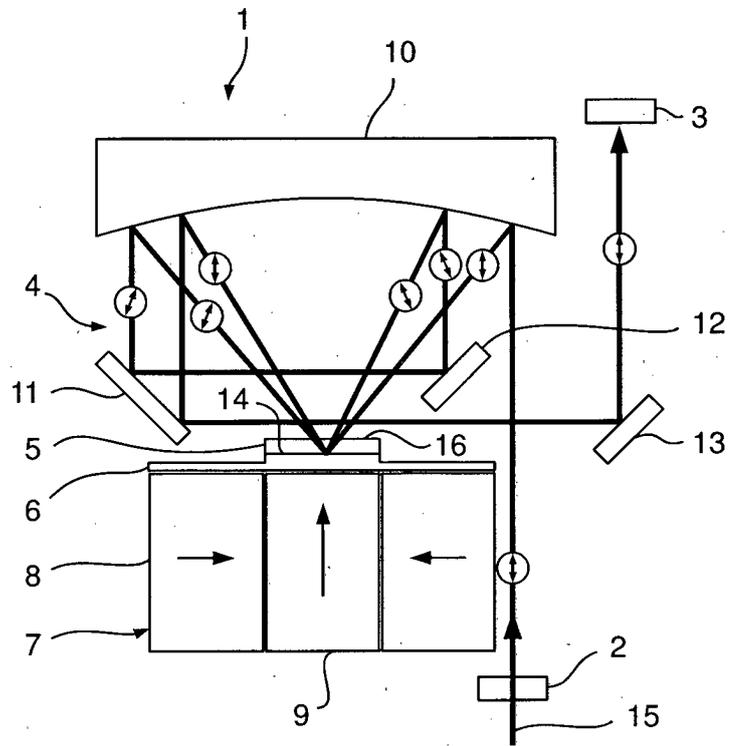


Fig. 18

