



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 025 688 A1** 2008.12.11

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 025 688.6**

(22) Anmeldetag: **01.06.2007**

(43) Offenlegungstag: **11.12.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 27/00** (2006.01)

G02B 27/50 (2006.01)

G02B 27/28 (2006.01)

G02B 21/06 (2006.01)

G01N 21/64 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der
 Wissenschaften e.V., 80539 München, DE**

(74) Vertreter:

Rehberg Hüppe + Partner, 37073 Göttingen

(72) Erfinder:

**Kastrup, Lars, Dr., 37083 Göttingen, DE; Westphal,
 Volker, Dr., 30161 Hannover, DE**

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

DE10 2006 011556 A1

DE10 2005 020003 A1

DE10 2005 013969 A1

DE10 2004 032953 A1

EP 16 62 296 A1

WO 2006/0 78 857 A2

US 62 59 104 B1

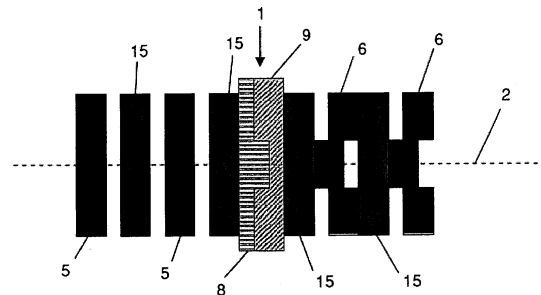
DE 103 13 138 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Wellenlängen- oder polarisationssensitiver optischer Aufbau und dessen Verwendung**

(57) Zusammenfassung: Bei einem optischen Aufbau mit einem Objektiv zum Projizieren von zwei optisch unterschiedlichen Lichtkomponenten in einen Projektionsraum und mit einem optischen Bauteil, das hindurchtretende Wellenfronten (5) der einen Lichtkomponente so deformiert, dass sich die Intensitätsverteilung der einen Lichtkomponente in dem Projektionsraum durch Interferenz mit sich selbst von der Intensitätsverteilung der anderen Lichtkomponente in dem Projektionsraum unterscheidet, treten die Wellenfronten (15) der anderen Lichtkomponente ebenso wie die Wellenfronten (5) der einen Lichtkomponente durch das optische Bauteil (1) hindurch, wobei das optische Bauteil (1) die Wellenfronten (15) der anderen Lichtkomponente (17) nicht deformiert und/oder für die andere Lichtkomponente (17) phasenkorrigiert oder phasenkorrigierbar ist.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen optischen Aufbau mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1. Weiterhin bezieht sich die Erfindung auf ein optisches Bauteil mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 24.

[0002] Soweit in den Patentansprüchen und der folgenden Beschreibung nur von zwei optisch unterschiedlichen Lichtkomponenten die Rede ist, so schließt dies das fakultative Auftreten weiterer Lichtkomponenten ausdrücklich nicht aus.

STAND DER TECHNIK

[0003] In der so genannten STED-Fluoreszenzlichtmikroskopie ist es bekannt, eine Probe, die zunächst mit Anregungslicht zur Fluoreszenz angeregt wurde, vor dem Erfassen von Fluoreszenzlicht, das von der Probe spontan emittiert wird, bis auf einen räumlich eng begrenzten Bereich mit Abregungslicht wieder abzuregen. Wenn dieser Bereich die Nullstelle eines Interferenzmusters des Abregungslichts ist und die Intensität des Abregungslichts hoch ist, ist es möglich, die räumlichen Abmessungen dieses Bereichs, aus dem das spontan emittierte Fluoreszenzlicht ausschließlich stammen kann, unter die Beugungsgrenze bei der Wellenlänge des verwendeten Lichts abzusenken. Dies bedeutet eine wesentliche Erhöhung der räumlichen Auflösung beim Abbilden der Probe durch das spontan emittierte Fluoreszenzlicht.

[0004] Typischerweise wird das Interferenzmuster des Abregungslichts mit Hilfe eines Spatial-Light-Modulators erzeugt, mit dem einfallende ebene Phasenfronten des Abregungslichts gezielt deformiert werden. So können beispielsweise die Phasenfronten in einem Zentralbereich nahe der optischen Achse gegenüber den Phasenfronten in der Peripherie verzögert werden. Hieraus resultiert beim Fokussieren des Abregungslichts ein Interferenzmuster mit einer Nullstelle am Fokuspunkt, die in Richtung der optischen Achse zwischen zwei Hauptmaxima der Lichtintensitätsverteilung und in der Fokalebene innerhalb eines Rings schwacher Intensität liegt. Ein anderes, Doughnut-förmiges Interferenzmuster mit einer Nulllinie längs der optischen Achse durch den Fokuspunkt kann dadurch erzielt werden, dass die einfallenden ebenen Wellenfronten des Abregungslichts mit einer um die optische Achse wendelförmig bis zu einer Wellenlänge des Abregungslichts ansteigenden Phasenverzögerung versehen werden.

[0005] In bekannten STED-Mikroskopen wird das derart bezüglich seiner Phasenfronten aberrierte Abregungslicht mit dem Anregungslicht zusammengeführt und in ein sowohl das Anregungslicht und das

Abregungslicht in die jeweilige Probe fokussierendes als auch von der Probe kommendes Fluoreszenzlicht auffangendes Objektiv gerichtet. Das Fluoreszenzlicht von der Probe kann dabei bekanntermaßen im Wesentlichen denselben Weg zurücklaufen, den das Anregungslicht vorgelaufen ist. So kann das Anregungslicht durch eine Lochblende hindurch treten, um mit dem Objektiv eine punktförmige Lichtquelle in die Probe abzubilden, und das Fluoreszenzlicht von der Probe kann durch dieselbe Lochblende zurücklaufen, wodurch eine so genannte konfokale Anordnung erreicht ist. Ein Vorteil hierbei ist, dass sich alle Änderungen des optischen Aufbaus zwischen der Lochblende und der Probe in gleicher Weise auf das Anregungslicht und das Fluoreszenzlicht auswirken. Groß ist jedoch der Justageaufwand, um die Strahlengänge des Anregungslichts einerseits und des Abregungslichts andererseits genau coaxial zueinander auszurichten.

[0006] Eine ähnliche Problematik tritt in der GSD-Fluoreszenzlichtmikroskopie auf, bei der der fluoreszenzfähige Grundzustand eines Fluoreszenzfarbstoffs in einer Probe zunächst bis auf einen räumlich eng begrenzten Bereich mit Entvölkerungslicht entvölkert wird, bevor die Probe mit Anregungslicht zur Fluoreszenz angeregt wird, um Fluoreszenzlicht von der Probe zu erfassen. Wenn der räumlich eng begrenzte Bereich die Nullstelle eines Interferenzmusters des Entvölkerungslichts ist und die Intensität des Entvölkerungslichts hoch ist, ist es möglich, die räumlichen Abmessungen dieses Bereichs, aus dem das Fluoreszenzlicht ausschließlich stammen kann, unter die Beugungsgrenze bei der Wellenlänge des verwendeten Lichts abzusenken. Dies bedeutet auch hier eine wesentliche Erhöhung der räumlichen Auflösung beim Abbilden der Probe durch das Fluoreszenzlicht. In der GSD-Fluoreszenzlichtmikroskopie sind das Entvölkerungslicht und das Anregungslicht, die dieselbe Wellenlänge aufweisen können, auf eine gemeinsame optische Achse zusammenzuführen.

[0007] Die beschriebenen Aberationen von ebenen Wellenfronten des Abregungslichts können neben dem schon erwähnten Spatial-Light-Modulator durch Phasenverzögerungselemente, beispielsweise aufgedampft auf eine planparallele Glasplatte, oder durch eine gestufte oder eine auch als Phasenuhr bezeichnete wendelförmige Glasplatte bewirkt werden.

[0008] Die Verwendung so genannter Spatial-Light-Modulatoren ist zwar insoweit günstig, als dass theoretisch beliebig geformte Wellenfronten generiert werden können. Allerdings ist eine von der aufgeprägten Modulation der Phasenverschiebung unabhängige Beeinträchtigung der Strahlqualität durch Spatial-Light-Modulatoren festzustellen.

[0009] Bei optischen Bauteilen mit Phasenverzögerungselementen und/oder gestufter oder wendelför-

miger Dicke ist zwar neben der gewünschten Variation der Phasenfronten keine Beeinträchtigung des durchlaufenden Abregungslichts zu erwarten; dafür sind diese Bauteile aber nur für Abregungslicht in einem kleinen Wellenlängenbereich geeignet.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen optischen Aufbau mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1 aufzuzeigen, bei dem z. B. der Justageaufwand für das Zusammenführen des Abregungslichts und des Anregungslichts bei einem STED-Fluoreszenzlichtmikroskop oder des Entvölkerungslichts und des Anregungslichts bei einem GSD-Fluoreszenzlichtmikroskop deutlich vereinfacht ist. Weiterhin soll ein für einen solchen optischen Aufbau besonders geeignetes optisches Bauteil aufgezeigt werden, das auch bei anderen Verwendungen Vorteile hat.

LÖSUNG

[0011] Die Aufgabe der Erfindung wird durch einen optischen Aufbau mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und ein optisches Bauteil mit den Merkmalen des Patentanspruchs 24 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen des optischen Aufbaus finden sich in den abhängigen Patentansprüchen 2 bis 23. Der Patentanspruch 25 ist auf eine bevorzugte Ausführungsform des optischen Bauteils gerichtet.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0012] Bei dem neuen optischen Aufbau treten zwei unterschiedliche Lichtkomponenten durch ein optisches Bauteil hindurch, wobei das optische Bauteil die Wellenfronten der einen Lichtkomponente so deformiert, dass sich die Intensitätsverteilung der einen Lichtkomponente in einem Projektionsraum durch Interferenz mit sich selbst von der Intensitätsverteilung der anderen Lichtkomponente in dem Projektionsraum unterscheidet. Konkret ist das optische Bauteil zu diesem Zweck für die andere Lichtkomponente phasenkorrigiert. Zumindest besteht die Möglichkeit einer Phasenkorrektur beispielsweise durch Veränderung des zu der anderen Lichtkomponente gehörigen Brechungsindex eines Teils des optischen Bauteils.

[0013] Indem sich die Strahlengänge beider Lichtkomponenten durch das optische Bauteil hindurch erstrecken, können beide Lichtkomponenten über einen großen Teil des optischen Aufbaus koaxial geführt werden, so dass eine relative Justage ihrer Strahlengänge zumindest über diesen Teil des optischen Aufbaus hinweg nicht erforderlich ist. Änderungen an dem optischen Aufbau in diesem Teil wirken sich in gleicher Weise auf beide Lichtkomponenten aus. Die einzigen Unterschiede für die beiden

Lichtkomponenten bestehen darin, dass die Wellenfronten der einen Lichtkomponente von dem optischen Bauteil deformiert werden, während diese Deformation für die andere Lichtkomponente unterbleibt, obwohl ihr Strahlengang ebenfalls durch das optische Bauteil führt, und dass die Intensitätsverteilung der einen Lichtkomponente im Zentrum des Fokusbereichs des auf das optische Bauteil folgenden Objektivs, in dem die Intensitätsverteilung der anderen Lichtkomponente konzentriert ist, aufgrund der Deformation ihrer Wellenfronten eine Nullstelle aufweist. Die Nullstelle kann dabei ein Nullpunkt, aber auch eine Nulllinie, die typischerweise in Richtung der optischen Achse verläuft, oder eine Nullebene sein, die typischerweise normal zu der optischen Achse verläuft. Die voranstehende Definition der vorliegenden Erfindung ist ersichtlich weiter als Ihre Anwendungsmöglichkeit auf dem Gebiet der STED- oder GSD-Fluoreszenzlichtmikroskopie. So kann der erfindungsgemäße optische Aufbau auch auf anderen technischen Gebieten verwendet werden, wie beispielsweise für optische Pinzetten zum Einfangen von Partikeln und deren Manipulation mit Licht oder auch für optische Atomfallen.

[0014] Zum Beispiel beim Einsatz des optischen Aufbaus in der Fluoreszenzlichtmikroskopie ist es möglich, dass auch der Strahlengang von mit dem Objektiv aus dem Fokusbereich erfasstem Licht, also insbesondere von Fluoreszenzlicht, durch das optische Bauteil verläuft. Dabei kann das optische Bauteil auch für dieses Licht phasenkorrigiert oder zumindest phasenkorrigierbar sein. Dies ist aber nicht zwingend erforderlich, da ein Phasenfehler des durch das optische Bauteil hindurch getretenen Lichts beispielsweise beim konfokalen Detektieren von Fluoreszenzlicht nur einen Intensitätsverlust bedeutet, der entsprechend bei kleinen Phasenfehlern klein bleibt.

[0015] Um die Strahlengänge der einen Lichtkomponente und der anderen Lichtkomponente von unterschiedlichen Lichtquellen kommend koaxial in den neuen optischen Aufbau einzukoppeln, kann ein gemeinsamer Lichtleiter vorgesehen sein. Dieser ist so auszuwählen, dass er selber zu keinen störenden Aberrationen der Wellenfronten führt. Gut geeignet als Lichtleiter ist eine Singlemode-Faser. Idealerweise weist der Lichtleiter die Singlemode-Eigenschaft sowohl für die eine als auch die andere Lichtkomponente auf. Besonders wichtig ist die Singlemode-Eigenschaft in Bezug auf die eine Lichtkomponente, deren Phasenfronten mit dem optischen Bauteil gezielt deformiert werden sollen. Weiterhin erhält die Singlemode-Faser vorzugsweise die Polarisation der von ihr geleiteten Lichtkomponenten. Der Fachmann erkennt, dass die polarisationserhaltende Eigenschaft der Singlemode-Faser Voraussetzung für das Funktionieren einiger eine Singlemode-Faser verwendenden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung

ist.

[0016] Wenn die beiden Lichtkomponenten stärker unterschiedliche Wellenlängen aufweisen, kann es schwierig sein, hierfür eine Faser als Lichtleiter zu finden, die für beide Wellenlängen eine Singlemode-Faser ist. Aber nicht nur dann kann auf die Möglichkeit zurückgegriffen werden, beide Lichtkomponenten auf das Loch einer Lochblende zu fokussieren, das im Brennpunkt einer auf der anderen Seite der Lochblende angeordneten Linse liegt. Die Linse formt aus dem aus der Lochblende austretenden Licht Wellenfronten, die weitestgehend normal zu der optischen Achse orientiert sind. Dabei auftretende Abweichungen von ideal ebenen Wellenfronten bleiben unbeachtlich, solange ein Winkel zwischen den Strahlengängen der beiden Lichtkomponenten vor der Lochblende klein bleibt.

[0017] Die voranstehend anhand von Beispielen mit einem Lichtleiter und einer Lochblende erläuterte Baugruppe für das koaxiale Einkoppeln der beiden Lichtkomponenten in den neuen optischen Aufbau wird allgemein als Raumfilter bezeichnet und kann auch in dem Fachmann grundsätzlich für Raumfilter bekannter anderer Weise ausgebildet sein.

[0018] Zum Beispiel im Falle der Anwendung des neuen optischen Aufbaus in der Fluoreszenzlichtmikroskop kann der Strahlengang von mit dem Objektiv aus dem Fokusbereich erfasstem Licht, also insbesondere von Fluoreszenzlicht, ebenfalls durch den Lichtleiter und/oder die Lochblende verlaufen, wobei dann ein Detektor für das Fluoreszenzlicht ebenso wie die Lichtquellen für die beiden Lichtkomponenten hinter dem Lichtleiter bzw. der Lochblende angeordnet ist.

[0019] Ein für den neuen optischen Aufbau besonders geeignetes optisches Bauteil weist über seiner aktiven Fläche mindestens einen Sprung, eine Unstetigkeit oder eine lokale Variation von mindestens einem Viertel, vorzugsweise von mindestens der Hälfte der Wellenlänge der einen Lichtkomponente in der Phasenverschiebung auf, die es der einen Lichtkomponente aufprägt, wobei die Phasenverschiebung, die das optische Bauteil der anderen Lichtkomponente aufprägt, so eingestellt oder einstellbar ist, dass sie sich über den Sprung, der Unstetigkeit oder die lokale Variation hinweg nicht ändert. Dabei sind kleinere Änderungen der Phasenverschiebung, die das optische Bauteil auch der anderen Lichtkomponente aufprägt, im Rahmen der Erfindung durchaus denkbar und zulässig. So kann beispielsweise beiden Lichtkomponenten mit dem optischen Bauteil eine gleiche Grundphasenverschiebung aufgeprägt werden. In diesem Fall weist aber die Phasenverschiebung, die der einen Lichtkomponente aufgeprägt wird, zusätzlich den Sprung, die Unstetigkeit oder die Variation über mindestens eine normal zu der optischen Achse des optischen Bauteils verlau-

fende Richtung auf. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist es auch zulässig, dass die andere Lichtkomponente durch das optische Bauteil ebenfalls eine Phasenverschiebung mit einem Sprung, einer Unstetigkeit oder einer Variation erfährt, wenn dieser Sprung, die Unstetigkeit oder die Variation deutlich kleiner, d. h. heißt maximal halb so groß, vorzugsweise maximal 20%, am meisten bevorzugt maximal 10% so groß ist wie das, was der einen Lichtkomponente aufgeprägt wird. Überdies sind relative Phasenverschiebungen zwischen den beiden Lichtkomponenten oder auch über der Wellenfront einer der Lichtkomponenten unerheblich, wenn sie ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge des jeweiligen Lichts betragen. Unter einer Unstetigkeit in der Phasenverschiebung ist nicht nur das zu verstehen, was exakt unter die mathematische Definition einer Unstetigkeit fällt, sondern auch alles, was sich in seinen praktischen optischen Auswirkungen beim Einsatz des neuen optischen Aufbaus hiervon nicht unterscheidet. Dasselbe gilt für einen Sprung in der Phasenverschiebung. Eine lokale Variation in der Phasenverschiebung zeichnet sich dadurch aus, dass sie über einen Teil des optischen Bauteils erfolgt, der sich in der relevanten Richtung über maximal 50%, vorzugsweise maximal 25% und am meisten bevorzugt maximal 10% der Gesamterstreckung des optischen Bauteils erstreckt.

[0020] Vorzugsweise weist das neue optische Bauteil in jeder normal zu seiner optischen Achse verlaufenden Richtung einen Sprung, eine Unstetigkeit oder eine lokale Variation von mindestens einer viertel Wellenlänge in der Phasenverschiebung auf, die es der Lichtkomponente aufprägt. Die Phasenverschiebungen der anderen Lichtkomponente über diese Richtungen sind, wenn überhaupt vorhanden, jeweils zumindest deutlich geringer.

[0021] In einer konkreten Ausführungsform des optischen Bauteils kann die optisch aktive Fläche des optischen Bauteils zum Beispiel einen kreisrunden Zentralbereich und eine sich darum kreisringförmig erstreckende Peripherie aufweisen, zwischen denen der Unterschied bei der Phasenverschiebung der einen Lichtkomponente die Hälfte ihrer Wellenlänge beträgt. In einer anderen konkreten Ausführungsform prägt das optische Bauteil der einen Lichtkomponente einen in Umfangsrichtung um seine optische Achse bis auf ihre Wellenlänge zunehmenden Unterschied bei der Phasenverschiebung auf.

[0022] Die beiden Lichtkomponenten können sich in ihrer Polarisation unterscheiden, wobei das optische Bauteil doppelbrechende optische Eigenschaften aufweisen kann. Zur Bereitstellung der doppelbrechenden optischen Eigenschaften kann das optische Bauteil beispielsweise auf einem Flüssigkristallpolymer, in dem Flüssigkristalle eine dauerhafte Orientierung aufweisen, oder auf einem doppelbrechenden

Kristall aufbauen.

[0023] Wenn sich die beiden Lichtkomponenten in ihrer Polarisierung unterscheiden, kann auch ein Spatial-Light-Modulator, zum Beispiel auf der Basis von Flüssigkristallen, als das optische Bauteil eingesetzt werden, soweit die Strahlqualität beider Lichtkomponenten hierunter nicht zu sehr leidet. Mit einem Spatial-Light-Modulator kann die Form von Wellenfronten einer axial polarisierten Lichtkomponente in weiten Grenzen gestaltet werden, während er die Phasen von Licht anderer Polarisierungen unverändert lässt. Diese Eigenschaft von Spatial-Light-Modulatoren ist grundsätzlich bekannt.

[0024] Wenn sich die beiden Lichtkomponenten hingegen in ihrer Wellenlänge unterscheiden, können bei dem optischen Bauteil zwei unterschiedliche Bereiche mit unterschiedlichem Dispersionsverhalten $n(\lambda)$ an dem Sprung oder der Unstetigkeit in der Phasenverschiebung aneinander grenzen. So können zwei aneinander angrenzende Bereiche für die eine Lichtkomponente unterschiedliche optische Weglängen und für die andere Lichtkomponente gleiche optische Weglängen bereitstellen.

[0025] Dabei können nicht nur die beiden unterschiedlichen Bereiche in Richtung der optischen Achse des optischen Bauteils jeweils durch planparallele Flächen begrenzt sein, sondern auch das gesamte optische Bauteil kann in Richtung seiner optischen Achse durch zwei parallele Flächen begrenzt sein.

[0026] Konkret kann das optische Bauteil in seinen unterschiedlichen Bereichen unterschiedliche Materialien oder unterschiedliche Materialkombinationen aufweisen. Hierzu zählt es als bevorzugte Ausführung auch, dass in den unterschiedlichen Bereichen dieselben Materialien in unterschiedlichen Dicken vorgesehen sind.

[0027] Besonders bevorzugt ist es, wenn mindestens eines der Materialien in seinem Dispersionsverhalten $n(\lambda)$ veränderbar ist, um eine Anpassung des optischen Bauteils an das Licht der einen und/oder der anderen Wellenlänge vorzunehmen. Dazu kann mindestens eines der Materialien des optischen Bauteils ein temperaturabhängiges Dispersionsverhalten $n(\lambda, T)$ aufweisen, wobei diesem Material eine Temperaturvorrichtung zugeordnet ist; oder mindestens eines der Materialien kann elektrisch veränderbare Dispersions-eigenschaften $n(\lambda, U)$ aufweisen, wobei diesem Material eine mit einer Spannung U beaufschlagbare Elektrode zugeordnet ist. Des Weiteren kann das Dispersionsverhalten des mindestens einen Materials durch ein Magnetfeld ($n(\lambda, B)$) oder durch die Konzentration mindestens eines Bestandteils des Materials ($n(\lambda, c)$) veränderbar sein.

[0028] Besonders günstig ist es bei dem erfindungs-

gemäßen optischen Bauteil, wenn der Brechungsindexunterschied zwischen dem Festkörper und dem Formkörper so veränderbar ist, dass er für eine Lichtkomponente in einen Unterschied bei den optischen Weglängen von mindestens einem Viertel, vorzugsweise von mindestens der Hälfte der Wellenlänge der einen Lichtkomponente resultiert, während ein Unterschied bei den optischen Weglängen für eine andere Lichtkomponente mit anderen optischen Eigenschaften null ist

[0029] Als Material mit ausgeprägtem Dispersionsverhalten $n(\lambda)$, das beispielsweise in Kombination mit einem Festkörper aus einem Material mit weniger stark ausgeprägtem Dispersionsverhalten zur Ausbildung des neuen optischen Bauteils geeignet ist, kommen insbesondere Polymere, Gele, Immersionsöle, Farbstofflösungen und Flüssigkristalle in Frage.

[0030] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des neuen Bauteils ist eine Küvette vorgesehen, bei der sich die Tiefe ihres Aufnahme-raums in Richtung der optischen Achse des optischen Bauteils über einer normal zu seiner optischen Achse verlaufenden Richtung ändert. In den Aufnahme-raum der Küvette kann ein fluides Material eingebracht werden, das zusammen mit dem Festkörper der Küvette, der nach außen durch planparallele Flächen begrenzt sein kann, die gewünschten optischen Eigenschaften des optischen Bauteils bereitstellt.

[0031] Ein optisches Bauteil, wie es bei dem neuen optischen Aufbau bevorzugt zur Anwendung kommt, kann auch vorteilhaft für Licht nur einer Wellenlänge eingesetzt werden. Die Besonderheit besteht dann darin, dass sich an einen Festkörper, der für Licht mindestens einer Wellenlänge in unterschiedlichen Bereichen des optischen Bauteils unterschiedliche optische Weglängen parallel zu der optischen Achse des Bauteils bereitstellt, in mindestens einem der Bereiche mindestens ein Formkörper längs der optischen Achse anschließt, wobei ein Brechungsindexunterschied zwischen dem Festkörper und dem Formkörper veränderbar ist, um die aufgrund des Festkörpers unterschiedlichen optischen Weglängen zu variieren. So kann das optische Bauteil insgesamt an die Wellenlänge des Lichts, für das es aktuell eingesetzt wird, adaptiert werden. Konkret kann beispielsweise ein Sprung in der optischen Weglänge, die das optische Bauteil ebenen Phasenfronten aufprägt, exakt auf die halbe Wellenlänge des Lichts abgestimmt werden.

[0032] Weiterhin kann ein optisches Bauteil, wie es bei dem neuen optischen Aufbau bevorzugt zur Anwendung kommt, so genutzt bzw. dahingehend modifiziert werden, dass es auch die Wellenfronten der anderen Lichtkomponente deformiert und zwar mit zu den Deformationen der einen Lichtkomponente entgegengesetztem Vorzeichen. Dabei ist es besonders

bevorzugt, wenn die Beträge der Deformationen beider Lichtkomponenten bezogen auf deren jeweilige Wellenlänge gleich groß sind. Hierfür ist zum Beispiel ein Material mit ausgeprägtem Dispersionsverhalten $n(\lambda)$ auszuwählen, bei dem sich im Vergleich zu dem Brechungsindex n eines anderen Materials des optischen Bauteils mit weniger stark ausgeprägtem Dispersionsverhalten für die eine Lichtkomponente eine positive Brechungsindexdifferenz Δn und für die andere Lichtkomponente gleichzeitig eine negative Brechungsindexdifferenz $-\Delta n$ ergibt oder umgekehrt.

[0033] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibungseinleitung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Weitere Merkmale sind den Zeichnungen – insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung – zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0034] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von konkreten Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert und beschrieben.

[0035] [Fig. 1](#) zeigt das Grundprinzip eines Phasenfilters, wie es bereits im Stand der Technik bekannt ist.

[0036] [Fig. 2](#) zeigt Dispersionskurven für die Kombination eines Glassubstrats (BK7) mit einer Mischung zweier Immersionsöle (Cargille 23°C-Öl und 37°C-Öl) als angrenzendes Medium. Links in [Fig. 2](#) sind unterschiedliche Mischungsverhältnisse der beiden Öle mit von unten nach oben aufsteigendem Anteil des 23°C-Öls aufgetragen, während rechts die Dispersionskurven für eine 1:1-Mischung für von unten nach oben aufsteigende Temperaturen aufgetragen sind.

[0037] [Fig. 3](#) zeigt die Auswirkung eines Wellenlängen-selektiven Phasenfilters auf ebene Wellenfronten von Licht unterschiedlicher Wellenlänge.

[0038] [Fig. 4](#) zeigt drei konkrete Ausführungsformen eines Wellenlängen-selektiven Phasenfilters auf Basis einer Küvette mit in Richtung der optischen Achse gestuftem Aufnahmeraum.

[0039] [Fig. 5](#) zeigt drei weitere Ausführungsformen des Wellenlängen-selektiven Phasenfilters.

[0040] [Fig. 6](#) zeigt die Verwendung eines Wellenlängenselektiven Phasenfilters in einem optischen Aufbau eines STED-Fluoreszenzlichtmikroskops, wobei zwei unterschiedliche Lagen eines Detektors zum Registrieren von Fluoreszenzlicht, das von der Probe spontan emittiert wird, angedeutet sind.

[0041] [Fig. 7](#) zeigt ein Raumfilter mit einer Lochblende als Alternative zu einem in dem optischen Aufbau gemäß [Fig. 6](#) verwendeten Raumfilter mit einem Lichtleiter.

[0042] [Fig. 8](#) zeigt einen Teil eines optischen Aufbaus, in dem ein Spatial-Light Modulator auf der Basis von Flüssigkristallen als Phasenfilter eingesetzt wird; und

[0043] [Fig. 9](#) zeigt den Aufbau eines weiteren STED-Fluoreszenzlichtmikroskops, bei dem von einer weiteren Ausführungsform des Wellenlängen-selektiven Phasenfilters Gebrauch gemacht wird.

FIGURENBESCHREIBUNG

[0044] [Fig. 1](#) zeigt ein Phasenfilter **1**, das im Bereich seiner optischen Achse **2** ein Phasenverzögerungselement **3** auf einem Glassubstrat **4** aufweist. Das Phasenverzögerungselement **3** sorgt im Zentralbereich des Phasenfilters **1** gegenüber der Peripherie des Phasenfilters **1** für eine Verzögerung von in Richtung der optischen Achse **2** einfallenden ebenen Wellenfronten **5**, wie sie bei den modifizierten Wellenfronten **6** skizziert ist. Dabei entspricht die relative Phasenverzögerung der modifizierten Wellenfronten **6** im Zentralbereich des Phasenfilters **1** einer halben Wellenlänge des hier betrachteten Lichts **7**. Wenn die modifizierten Wellenfronten **6** mit einem Objektiv in einen Fokuspunkt fokussiert werden, bildet sich durch Interferenzeffekte am Fokuspunkt selbst eine Nullstelle der Intensitätsverteilung des Lichts **7** aus, die in Richtung der optischen Achse **2** zwischen zwei Hauptmaxima der Intensitätsverteilung eingeschlossen und in der Fokalebene von einem Ring schwacher Intensität des Interferenzmusters umgeben ist. Das Phasenfilter **1** gemäß [Fig. 1](#) modifiziert einfallende Wellenfronten jeglicher Wellenlänge. Bei einer Wellenlänge, auf die das Phasenverzögerungselement **3** nicht abgestimmt ist, beträgt die relative Ver-

zögerung der Wellenfronten im Zentralbereich des Phasenfilters **1** jedoch nicht eine halbe Wellenlänge, sondern einen von der Wellenlänge des dann betrachteten Lichts abhängigen Verzögerungswert. Die konkrete Phasenverschiebung hängt von den unterschiedlichen optischen Weglängen parallel zu der optischen Achse **2** durch das Phasenverzögerungselement **3** und durch die es radial umgebende Luft ab. Das planparallel begrenzte Substrat **4** sorgt nur für eine über den gesamten Querschnitt des Lichts **7** gleichmäßige Phasenverzögerung, d. h. für keine relative Phasenverzögerung über die einzelnen Wellenfronten.

[0045] In Verbindung mit [Fig. 2](#) skizziert [Fig. 3](#) die Möglichkeit, das Phasenfilter **1** so auszubilden, dass es einfallende ebene Wellenfronten **5** einer ersten Wellenlänge entsprechend [Fig. 1](#) in modifizierte Wellenfronten **6** aberriert, während einfallende ebene Wellenfronten **15** einer anderen Wellenlänge undeformiert durch das Phasenfilter **1** hindurch treten. Dabei baut das Phasenfilter **1** auf zwei Materialien **8** und **9** auf, die längs der optischen Achse **2** hintereinander angeordnet sind. Die Kombination der beiden Materialien **8** und **9**, d. h. das gesamte Phasenfilter **1** ist planparallel begrenzt; die Erstreckung des Materials **8** ist jedoch in dem Zentralbereich des Phasenfilters **1** nahe der optischen Achse **2** größer als in dessen Peripherie. Entsprechend ist die Erstreckung des Materials **9** parallel zu der optischen Achse **2** in dem Zentralbereich kleiner als in der Peripherie. Die Erstreckungsunterschiede der beiden Materialien **8** und **9** längs der optischen Achse **2** sind so auf ein Dispersionsverhalten $n(\lambda)$ des Materials **9** abgestimmt, dass für die Wellenlänge λ der Wellenfronten **5** die Phasenverzögerung von $\lambda/2$ im Zentralbereich des Phasenfilters **1** resultiert. Gleichzeitig ist das Dispersionsverhalten $n(\lambda)$ des Materials **9** aber auch so auf das Material **8** abgestimmt, dass für das Licht der Wellenfronten **15** mit einer anderen Wellenlänge die Brechungsindizes n beider Materialien **8** und **9** gleich sind.

[0046] Konkret kann das Material **9** beispielsweise ein Immersionsöl sein, das anhand der Dispersionskurven gemäß [Fig. 2](#) bezüglich seiner Zusammensetzung oder seiner Temperatur so abgestimmt ist, dass es für die Wellenlänge λ der Wellenfronten **15** gegenüber dem Material **8** einen Δn -Wert von null aufweist. Für die Wellenlänge der Wellenfronten **5** muss der Δn -Wert positiv sein, um die in [Fig. 3](#) gezeigte Verzögerung der Wellenfronten **6** im Zentralbereich des Phasenfilters **1** zu erzeugen. Das Maß der Verzögerung kann dabei sowohl durch den Δn -Wert als auch durch den Unterschied in der Erstreckung der beiden Materialien **8** und **9** zwischen dem Zentralbereich und der Peripherie eingestellt werden. Grundsätzlich kann der Δn -Wert für die Wellenlänge der Wellenfronten **5** auch negativ sein, wobei die Wellenfronten **6** dann umgekehrt deformiert,

dass heißt in ihrer Peripherie gegenüber ihrem Zentrum verzögert sind.

[0047] Für das Material **9** in Form eines Immersionsöls kann eine Küvette **10** vorgesehen sein, wie sie in [Fig. 4](#) in drei Ausführungsformen gezeigt ist und deren Aufnahmeraum in Richtung der optischen Achse **3** eine Tiefe aufweist, welche über einer Richtung normal zu der optischen Achse eine Stufe aufweist. Dabei entspricht die Küvette **10** gemäß [Fig. 4\(a\)](#) dem Phasenfilter **1** gemäß [Fig. 3](#), bei dem das Material **8** im Zentralbereich des Phasenfilters **1** die größere axiale Erstreckung aufweist. Die Küvette **10** gemäß [Fig. 4\(b\)](#) illustriert den umgekehrten Fall. Das Material **9** zur Befüllung der Küvette **10** kann neben einem Dispersionsöl auch ein anderes fluides Material, wie beispielsweise ein flüssiges Polymer, ein Flüssigkristall oder eine Farbstofflösung sein. Die jeweils rechts zu sehende planparallele Wand **11** der Küvette **10** wirkt sich auf die relativen Phasenverschiebungen aufgrund der unterschiedlichen Materialverteilungen **8** und **9** nicht aus. Gemäß [Fig. 4\(c\)](#) weist die Küvette **10** zwei planparallele Wände **11** auf, wobei auf die Innenseite der hier links dargestellten Wand **11** im Zentralbereich des Phasenfilters **1** ein Festkörper aus dem Material **8** aufgesetzt ist. Trotz der etwas unterschiedlichen Ausführung entspricht die Funktionsweise dieses Phasenfilters **1** derjenigen gemäß [Fig. 4\(a\)](#).

[0048] [Fig. 5](#) zeigt drei verschiedene weitere Ausführungsformen eines Phasenfilters **1**. Dabei entsprechen die Ausführungsformen (a) und (b) im Prinzip den Ausführungsformen der Küvette **10** gemäß den [Fig. 4\(a\)](#) und (b); hier liegen jedoch beide Materialien **8** und **9** als Festkörper vor. In [Fig. 5\(c\)](#) ist demgegenüber das Material **9** nur wie das Phasenverzögerungselement **3** gemäß [Fig. 1](#) im Zentralbereich des Phasenfilters **1** vorgesehen, während sich das Material **8** ausschließlich in dessen Peripherie erstreckt. Beide Materialien **8** und **9** sind hier auf einem gemeinsamen Substrat **4** angeordnet. Das Substrat **4** ist aufgrund seiner planparallelen Begrenzung senkrecht zu der optischen Achse **2** in Bezug auf die Aberration der ebenen Wellenfronten neutral. Die Aberration der ebenen Wellenfronten wird hier nur durch einen Brechungsindexunterschied $\Delta(n)$ zwischen den Materialien **8** und **9** für die Wellenlänge der zu aberrierenden Wellenfronten bewirkt. Für die nicht zu aberrierenden Wellenfronten weisen die Materialien **8** und **9** hingegen aufgrund unterschiedlicher Dispersionsseigenschaften $n(\lambda)$ gleiche Brechungsindizes n auf.

[0049] [Fig. 6](#) skizziert einen optischen Aufbau **13** eines STED-Fluoreszenzlichtmikroskops **14**. Das STED-Fluoreszenzlichtmikroskop **14** dient zur mikroskopischen Untersuchung einer Probe **16**, wobei ein Fluoreszenzfarbstoff in der Probe **16**, mit dem eine interessierende Struktur in der Probe **16** markiert ist,

mit Anregungslicht **17** zu Fluoreszenz angeregt und das anschließend von dem Fluoreszenzfarbstoff spontan emittierte Fluoreszenzlicht mit einem Detektor **18** registriert wird. Dabei wird das Anregungslicht **17** mit demselben Objektiv **19** in die Probe **16** fokussiert, mit dem auch das Fluoreszenzlicht **20** von der Probe **16** auf den Detektor **18** abgebildet wird. Um die Ortsauflösung beim Abbilden der interessierenden Struktur der Probe aufgrund des registrierten Fluoreszenzlichts **20** zu erhöhen, wird neben dem Anregungslicht **17** von einem Laser als Anregungslichtquelle **21** auch Abregungslicht **22** von einem Laser als Abregungslichtquelle **23** eingesetzt. Das Abregungslicht **22** wird ebenfalls mit dem Objektiv **19** in die Probe **16** fokussiert. Durch selektive Aberration der Wellenfronten des Abregungslichts **22** mit dem Wellenlängen-selektiven Phasenfilter **1** wird jedoch die Intensität des Abregungslichts **22** nicht gemeinsam mit dem Anregungslicht **17** in dem Fokuspunkt fokussiert, sondern durch Interferenzeffekte bilden die modifizierten Wellenfronten des Abregungslichts **22** eine Intensitätsnullstelle des Abregungslichts an dem Fokuspunkt aus. Da das Phasenfilter **1** das Anregungslicht **17** aufgrund seiner unterschiedlichen Wellenlänge gegenüber dem Abregungslicht **22** nicht aberiert, kann auch das Anregungslicht **17** durch das Phasenfilter **1** hindurch treten. Ebenso kann das Fluoreszenzlicht **20** durch das Phasenfilter **1** hindurch treten und erst hinter dem Phasenfilter **1** von dem Anregungslicht **17** und dem Abregungslicht **22** abgetrennt werden. Bei dem Aufbau **13** gemäß [Fig. 6](#) werden das Anregungslicht **17** und das Abregungslicht **22** gemeinsam über eine Optik **24** in ein Ende einer Singlemode-Faser **25** eingekoppelt, deren anderes Ende im Brennpunkt einer Linse **26** angeordnet ist, um sowohl aus dem Anregungslicht **17** als auch aus dem Abregungslicht **22** ebene Wellenfronten zu formen. Die ebenen Wellenfronten des Anregungslichts **17** laufen dann bis zu dem Objektiv **19** vor, von dem sie in die Probe **16** fokussiert werden. Sie treten dabei undeformiert durch das Phasenfilter **1** hindurch. Demgegenüber werden die ebenen Wellenfronten des Abregungslichts **22** von dem Phasenfilter **1** in der gewünschten Weise aberiert. Das Fluoreszenzlicht **20** im Rücklauf von der Probe **16** kann durch das Phasenfilter **1** ebenso wie das Anregungslicht **17** unbeeinflusst bleiben. Es mag aber auch aberiert werden, solange mindestens ein wesentlicher Anteil in die Singlemode-Faser **25** und zu dem Detektor **18** hinter den dichroitischen Spiegeln **27** und **28** gelangt, die das Anregungslicht **17** von der Anregungslichtquelle **21** und das Abregungslicht **22** von der Abregungslichtquelle **23** koaxial auf die Linse **24** ausrichten. Alternativ kann ein Detektor **18'** auch so angeordnet sein, dass ein dichroitischer Spiegel **29** zwischen dem Objektiv **19** und dem Phasenfilter **1** das Fluoreszenzlicht **20** zu ihm auskoppelt, wobei eine der Linse **26** entsprechende Linse **30** zum Fokussieren des Fluoreszenzlichts **20** auf den Detektor **18'** vorgesehen ist. Vor dem Detektor **18** bzw. **18'** ist ein

Fluoreszenzbandpassfilter **34** oder eine andere geeignete Einrichtung, wie beispielsweise ein Prisma oder Gitter mit Blende, angeordnet, um selektiv nur das Fluoreszenzlicht zu dem Detektor durchzulassen und reflektierte Anteile des Anregungslichts **17** oder des Abregungslichts **22** oder Licht noch anderer Wellenlängen von dem Detektor fern zu halten.

[0050] [Fig. 7](#) illustriert eine Alternative zu einer Baugruppe **35** des optischen Aufbaus **13** in [Fig. 6](#), die gemeinhin als Raumfilter bezeichnet wird und die dazu dient, ebene und parallel zueinander verlaufende Wellenfronten **5**, **15** aus dem Anregungslicht **17** und dem Abregungslicht **22** zu formen. Dabei ist statt der Singlemode-Faser **25** das Loch einer Lochblende **12**, das auch als Pinhole bezeichnet wird, zwischen den Linsen **24** und **26** in deren hier zusammenfallenden Brennpunkten angeordnet. Die Lochblende **12** ist dann von Vorteil, wenn keine sowohl für die Wellenlängen des Anregungslichts **17** als auch des Abregungslichts **22** geeignete Singlemode-Faser **25** zur Verfügung steht.

[0051] [Fig. 8](#) zeigt einen optischen Aufbau **13**, in dem ein Laser **31** Licht **7** nur einer Wellenlänge abgibt, aus dem mit den Linsen **24** und **26** auf das Phasenfilter **1** fallende ebene Wellenfronten **5**, **15** ausgebildet werden. Dennoch finden sich hinter dem Phasenfilter **1** sowohl deformierte Wellenfronten **6**, die beim anschließenden Fokussieren mit dem hier nicht dargestellten Objektiv **19** aufgrund von Interferenzeffekten zu einer Nullstelle der Intensitätsverteilung am geometrischen Fokuspunkt führen, als auch undeformierte Wellenfronten **15**. Dies liegt daran, dass das Phasenfilter **1** doppelbrechende optische Eigenschaften aufweist, und auf unterschiedliche Polarisierungen des Lichts **7** unterschiedlich anspricht. Konkret ist das Phasenfilter **1** hier ein ansteuerbarer Spatial-Light-Modulator, bei dem sich die räumlich modulierbare Phasenverschiebung nur auf Licht einer bestimmten, in der Regel axialen Polarisationsrichtung auswirkt. Hier weisen die Wellenfronten **5** diese Polarisationsrichtung auf und werden entsprechend zu den Wellenfronten **6** deformiert. Die Wellenfronten **15**, die hier andere Polarisationsrichtungen aufweisen, werden von dem Spatial-Light-Modulator hingegen nicht deformiert. Für diesen optischen Aufbau **13** sind grundsätzlich bekannte und handelsübliche Spatial-Light-Modulatoren geeignet, die auf der Basis von Flüssigkristallen ausgebildet sind, welche unter Einwirkung eines äußeren elektrischen Felds eine definierte, der räumlichen Intensitätsverteilung des elektrischen Felds entsprechende Ordnungsverteilung annehmen. Mit zunehmender Ordnung der Flüssigkristalle nimmt der doppelbrechende Effekt zu. Durch einen Polarisationskonfigurator **32** sind die relativen Anteile der unterschiedlichen Polarisierungen an dem Licht **7** und deren zeitliche Abfolge einstellbar, was auch dynamisch erfolgen kann.

[0052] **Fig. 9** zeigt ein STED-Fluoreszenzlichtmikroskop **14**, das sich von der Ausführungsform gemäß **Fig. 6** mit dem das Fluoreszenzlicht **20** zu dem Detektor **18** umlenkenden dichroitischen Spiegel **29** in folgenden Details unterscheidet. Der dichroitische Spiegel **27** entfällt, der dichroitische Spiegel **28** ist durch einen Polarisationsstrahlteiler **37** ersetzt, und das Phasenfilter **1** basiert auf einem Flüssigkristallpolymer, das das Licht mit der Polarisation des Anregungslichts **17** in Form ebener Wellenfronten **15** hindurchtreten lässt, während das Licht mit der Polarisation des Abregungslichts **22** gezielt aberiert wird. Hierzu ist die räumliche Orientierung der Flüssigkristalle des Flüssigkristallpolymers **36** im Zentrum des Phasenfilters anders als in seinen Randbereichen. Dies entspricht einer Ansteuerung des Spatial-Light-Modulators **33** gemäß **Fig. 8**. Bei dem Phasenfilter **1** gemäß **Fig. 9** auf der Basis des Flüssigkristallpolymers **36** ist jedoch eine dauerhafte Orientierung der Flüssigkristalle gegeben, d. h. ohne Anliegen eines äußeren elektrischen Felds. Bei der Ausführungsform des STED-Fluoreszenzlichtmikroskops gemäß **Fig. 9** muss die Singlemode-Faser **25** polarisationserhaltend sein.

Bezugszeichenliste

1	Phasenfilter
2	optische Achse
3	Phasenverzögerungselement
4	Substrat
5	einfallende Wellenfront
6	modifizierte Wellenfront
7	Licht
8	Material
9	Material
10	Küvette
11	Wand
12	Lochblende
13	optischer Aufbau
14	STED-Fluoreszenzlichtmikroskop
15	ebene Wellenfront
16	Probe
17	Anregungslicht
18	Detektor
19	Objektiv
20	Fluoreszenzlicht
21	Anregungslichtquelle
22	Abregungslicht
23	Abregungslichtquelle
24	Optik
25	Single Mode-Faser
26	Linse
27	dichroitischer Spiegel
28	dichroitischer Spiegel
29	dichroitischer Spiegel
30	Linse

31	Laser
32	Polarisationskonfigurator
33	Spatial-Light-Modulator
34	Fluoreszenzbandpassfilter
35	Raumfilter
36	Flüssigkristallpolymer
37	Polarisationsstrahlteiler

Patentansprüche

1. Optischer Aufbau mit einem Objektiv zum Projizieren von zwei optisch unterschiedlichen Lichtkomponenten in einen Projektionsraum und mit einem optischen Bauteil, das hindurch tretende Wellenfronten der einen Lichtkomponente so deformiert, dass sich die Intensitätsverteilung der einen Lichtkomponente in dem Projektionsraum durch Interferenz mit sich selbst von der Intensitätsverteilung der anderen Lichtkomponente in dem Projektionsraum unterscheidet, gekennzeichnet, dass die Wellenfronten (**15**) der anderen Lichtkomponente (**17**) ebenso wie die Wellenfronten (**5**) der einen Lichtkomponente (**22**) durch das optische Bauteil (**1**) hindurch treten, wobei das optische Bauteil (**1**) die Wellenfronten (**15**) der anderen Lichtkomponente (**17**) nicht deformiert und/oder für die andere Lichtkomponente (**17**) phasenkorrigiert oder phasenkorrigierbar ist.

2. Optischer Aufbau nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektiv (**19**) beide Lichtkomponenten (**17**, **22**) in einen Fokusbereich fokussiert, wobei das optische Bauteil (**1**) die Wellenfronten (**5**) der einen Lichtkomponente (**22**) so deformiert, dass die Intensitätsverteilung der einen Lichtkomponente (**22**) im Zentrum des Fokusbereichs, in dem die Intensitätsverteilung der anderen Lichtkomponente (**17**) konzentriert ist, eine Nullstelle aufweist.

3. Optischer Aufbau nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass auch Licht (**20**), das das Objektiv (**19**) aus dem Fokusbereich erfasst, durch das optische Bauteil (**1**) hindurch tritt.

4. Optischer Aufbau einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die eine Lichtkomponente (**22**) und die andere Lichtkomponente (**17**) vor dem optischen Bauteil (**1**) gemeinsam durch einen Lichtleiter (**25**) und/oder eine Lochblende (**12**) verlaufen.

5. Optischer Aufbau nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtleiter eine Singlemode-Faser (**25**) ist.

6. Optischer Aufbau nach Anspruch 3, dieser rückbezogen auf Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass auch das mit dem Objektiv (**19**) aus dem Fokusbereich erfasste Licht (**20**) durch den Lichtleiter (**25**) und/oder eine Lochblende (**12**) hindurch tritt.

7. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ebene Wellenfronten (**5**, **15**) beider Lichtkomponenten (**22**, **17**) auf das optische Bauteil (**1**) auftreffen.

8. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (**1**) über seiner aktiven Fläche mindestens einen Sprung, eine Unstetigkeit oder eine Variation von mindestens einem Viertel, vorzugsweise von mindestens der Hälfte der Wellenlänge der einen Lichtkomponente (**22**) in der Phasenverschiebung aufweist, die es der einen Lichtkomponente (**22**) aufprägt, wobei die Phasenverschiebung, die das optische Bauteil (**1**) der anderen Lichtkomponente (**17**) aufprägt, so eingestellt oder einstellbar ist, dass sie sich über den Sprung, der Unstetigkeit oder die Variation hinweg nicht ändert.

9. Optischer Aufbau nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (**1**) in über jeder normal zu seiner optischen Achse (**2**) verlaufenden Richtung einen Sprung, eine Unstetigkeit oder eine Variation von mindestens einer viertel Wellenlänge in der Phasenverschiebung aufweist, die es der einen Lichtkomponente (**22**) aufprägt.

10. Optischer Aufbau nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die optisch aktive Fläche des optischen Bauteils (**1**) einen kreisrunden Zentralbereich und eine sich darum kreisringförmig erstreckende Peripherie aufweist, zwischen denen der Unterschied bei der Phasenverschiebung der einen Lichtkomponente (**22**) die Hälfte ihrer Wellenlänge beträgt.

11. Optischer Aufbau nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (**1**) der einen Lichtkomponente (**22**) einen in Umfangsrichtung um seine optische Achse bis auf ihre Wellenlänge zunehmenden Unterschied bei der Phasenverschiebung aufprägt.

12. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass sich die beiden Lichtkomponenten (**17**, **22**) in ihrer Polarisation unterscheiden.

13. Optischer Aufbau nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (**1**) ein Spatial-Light-Modulator auf der Basis von Flüssigkristallen ist.

14. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass sich die beiden Lichtkomponenten (**17**, **22**) in ihrer Wellenlänge unterscheiden.

15. Optischer Aufbau nach Anspruch 14, dieser rückbezogen auf einen der Ansprüche 8 bis 11, da-

durch gekennzeichnet, dass an dem Sprung oder der Unstetigkeit in der Phasenverschiebung zwei unterschiedliche Bereiche des optischen Bauteils (**1**) aneinander stoßen, die ein unterschiedliches Dispersionsverhalten $n(\lambda)$ aufweisen.

16. Optischer Aufbau nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden unterschiedlichen Bereiche in Richtung der optischen Achse (**2**) des optischen Bauteils jeweils durch planparallele Flächen begrenzt sind.

17. Optischer Aufbau nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das gesamte optische Bauteil (**1**) in Richtung seiner optischen Achse (**2**) durch zwei planparallele Flächen begrenzt ist.

18. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (**1**) in seinen unterschiedlichen Bereichen unterschiedliche Materialien (**8**, **9**) oder unterschiedliche Materialkombinationen aufweist.

19. Optischer Aufbau oder optisches Bauteil nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass in den unterschiedlichen Bereichen dieselben Materialien (**8**, **9**) in unterschiedlichen Dicken vorgesehen sind.

20. Optischer Aufbau nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Materialien (**9**) ein temperaturabhängiges Dispersionsverhalten $n(\lambda, T)$ aufweist, wobei diesem Material eine Temperiervorrichtung zugeordnet ist.

21. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Materialien ein elektrisch veränderbares Dispersionsverhalten $n(\lambda, U)$ aufweist, wobei diesem Material eine mit einer Spannung U beaufschlagbare Elektrode zugeordnet ist.

22. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Materialien (**9**) ein Polymer, ein Gel, ein Immersionsöl, eine Farbstofflösung oder ein Flüssigkristall ist.

23. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 18 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bauteil (**1**) eine Küvette aufweist, bei der sich die Tiefe eines Aufnahmeraums in Richtung der optischen Achse (**2**) des optischen Bauteils über seiner optisch aktiven Fläche ändert.

24. Optisches Bauteil mit einer optischen Achse und mit einem Festkörper, der für Licht mindestens einer Wellenlänge in unterschiedlichen Bereichen unterschiedliche optische Weglängen parallel zu der optischen Achse bereitstellt, dadurch gekennzeichnet,

net, dass mindestens ein Formkörper in mindestens einem der Bereiche längs der optischen Achse an den Festkörper anschließt, wobei ein Brechungsindexunterschied zwischen dem Festkörper und dem Formkörper veränderbar ist, um die aufgrund des Festkörpers unterschiedlichen optischen Weglängen zu variieren.

25. Optisches Bauteil nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass das der Brechungsindexunterschied zwischen dem Festkörper und dem Formkörper so veränderbar ist, dass er für eine Lichtkomponente (**22**) in einen Unterschied bei den optischen Weglängen von mindestens einem Viertel, vorzugsweise von mindestens der Hälfte der Wellenlänge der einen Lichtkomponente (**22**) resultiert, während ein Unterschied bei den optischen Weglängen für eine andere Lichtkomponente (**17**) mit anderen optischen Eigenschaften null ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

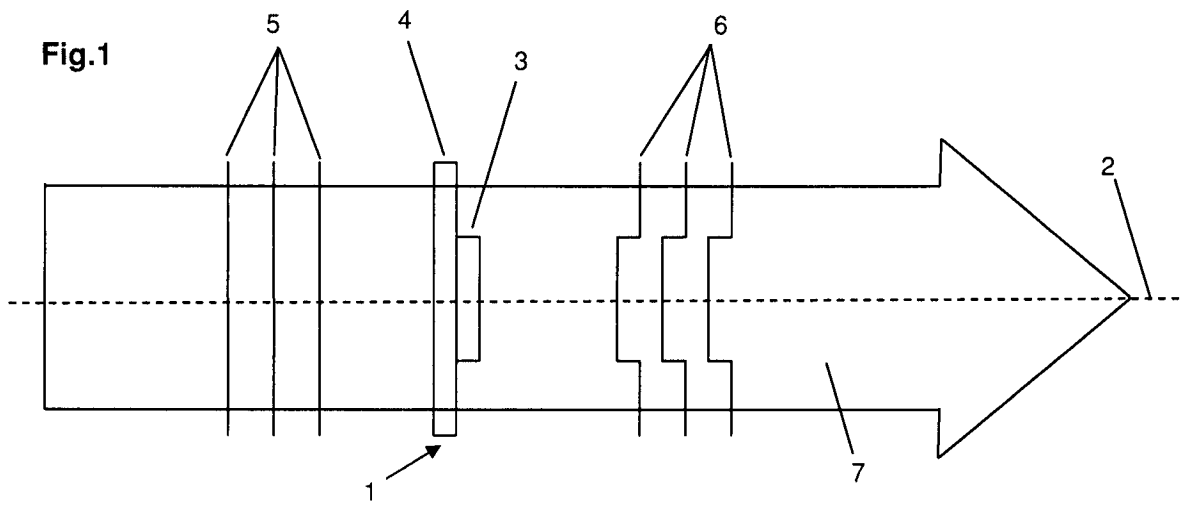


Fig.2

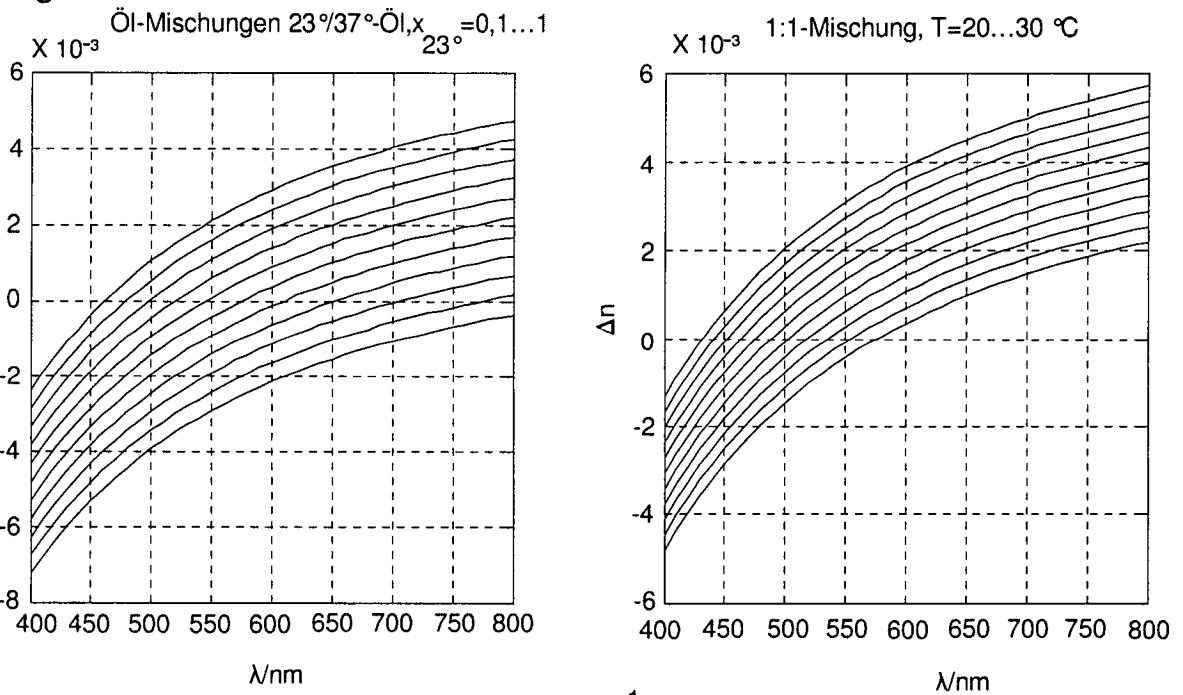


Fig.3

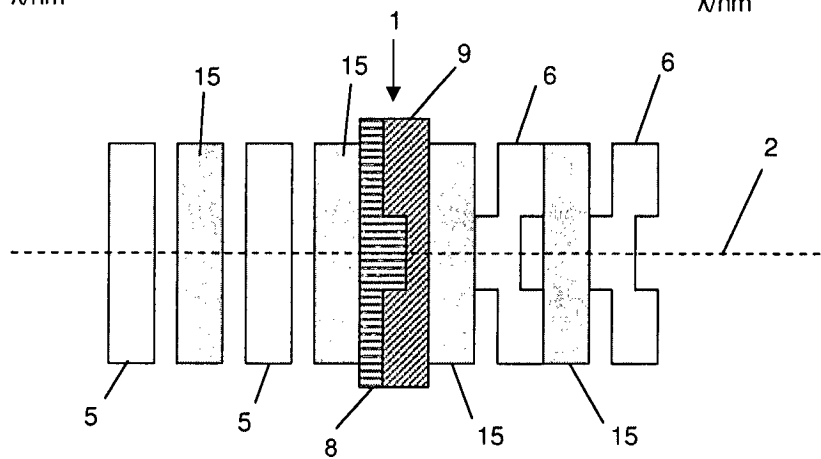


Fig.4

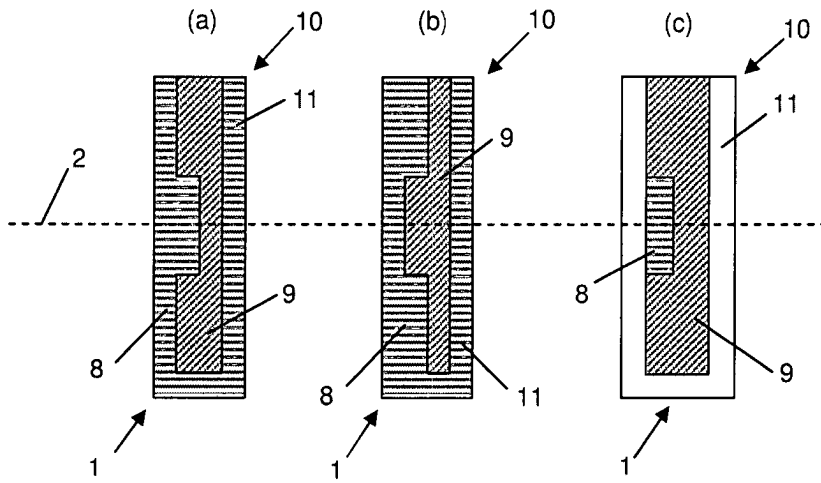


Fig.5

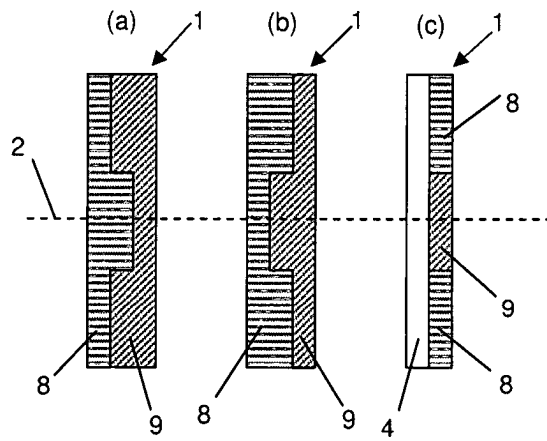
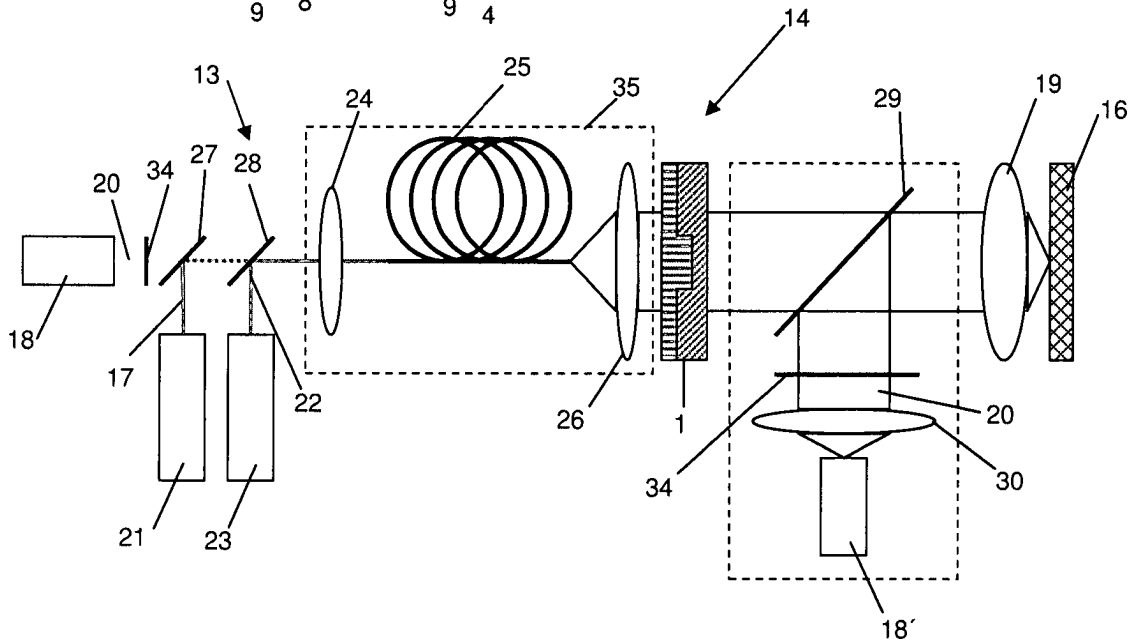


Fig.6



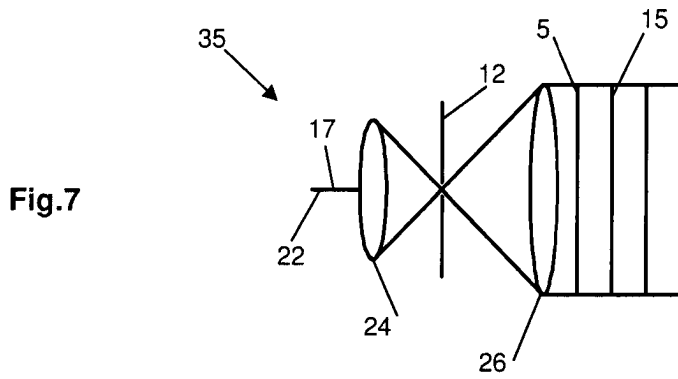


Fig.7

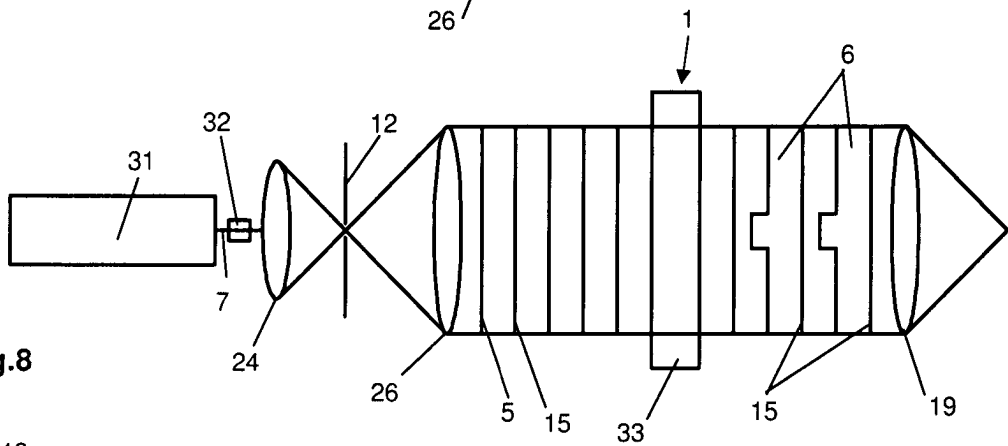


Fig.8

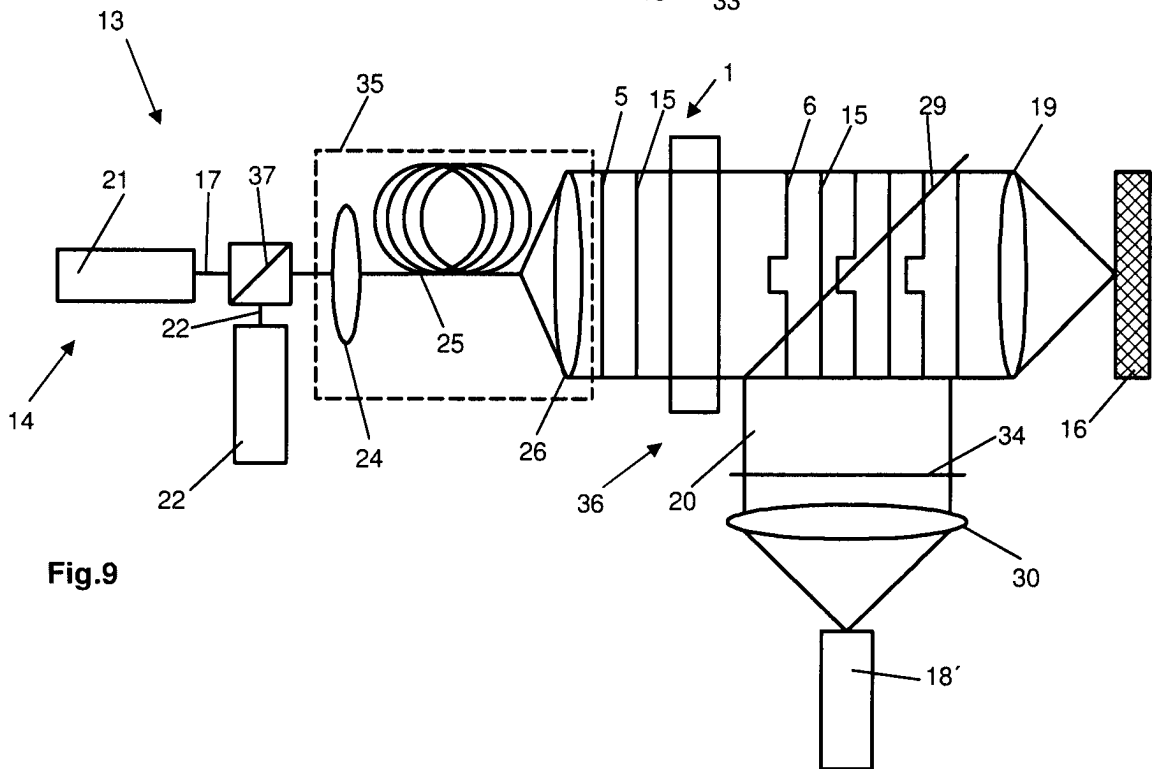


Fig.9