

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Dezember 2010 (29.12.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/149588 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G03H 1/08 (2006.01) G02B 27/28 (2006.01)
G02B 27/10 (2006.01) G02B 5/32 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/058626

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Juni 2010 (18.06.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
09163528.4 23. Juni 2009 (23.06.2009) EP
102009044910.8
23. September 2009 (23.09.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SEEREAL TECHNOLOGIES S.A. [LU/LU]; 6B, Parc d'Activités Syrdall, L-5365 Munsbach, Grand-Duchy of Luxembourg (LU).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FÜTTERER, Gerald [DE/DE]; Augsburger Str. 79, 01277 Dresden (DE). LEISTER, Norbert [DE/DE]; Hermannstädter Str. 23, 01279 Dresden (DE). HÄUSSLER, Ralf [DE/DE]; Mer-

seburger Str. 1, 01309 Dresden (DE). LAZAREV, Grigory [RU/DE]; Dunckerstr. 79, 10437 Berlin (DE).

(74) Anwalt: BRADL, Joachim; SeeReal Technologies GmbH, Blasewitzer Str. 43, 01307 Dresden (DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL LIGHT MODULATION ARRANGEMENT FOR MODULATING A WAVE FIELD HAVING COMPLEX INFORMATION

(54) Bezeichnung : RÄUMLICHE LICHTMODULATIONSEINRICHTUNG ZUM MODULIEREN EINES WELLENFELDES MIT KOMPLEXER INFORMATION

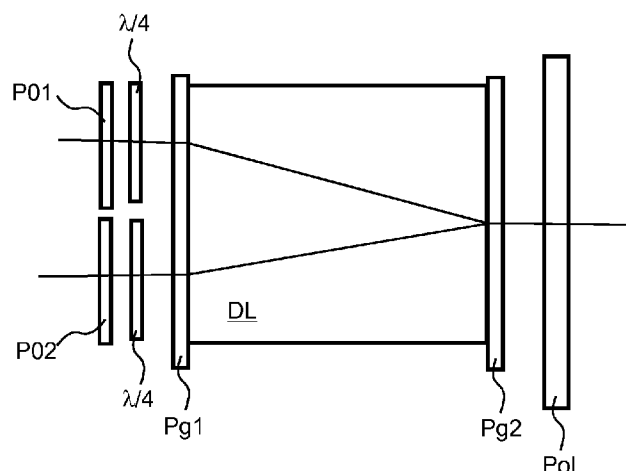


FIG. 11

(57) Abstract: The present invention relates to a three-dimensional light modulator (SLM), of which the pixels (P01, P02) are combined to form modulation elements (ME). Each modulation element (ME) can be coded with a preset discrete value such that three-dimensionally arranged object points can be holographically reconstructed. The light modulator according to the invention is characterized in that assigned to the pixels (P01, P02) of the modulator are beam splitters or beam combiners which, for each modulation element (ME), combine the light wave parts modulated by the pixels (P01, P02) by means of refraction or diffraction on the output side to form a common light beam which exits the modulation element (ME) in a set propagation direction.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/149588 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Räumlichen Lichtmodulator (SLM), dessen Pixel (P01, P02) zu Modulationselementen (ME) kombiniert sind. Jedes Modulationselement (ME) ist mit einem vorgebbaren, diskreten Wert kodierbar, um so räumlich arrangierte Objektpunkte holographisch zu rekonstruieren. Der erfindungsgemäße Lichtmodulator ist dadurch gekennzeichnet, dass den Pixeln (P01, P02) des Modulators Strahlenteiler bzw. Strahlenkombinatoren zugeordnet sind. Diese fassen für jedes Modulationselement (ME) die durch die Pixel (P01, P02) modulierten Lichtwellenteile, mittels Refraktion oder Diffraktion, ausgangseitig zu einem gemeinsamen Lichtstrahl zusammen, der das Modulationselement (ME) in eine festgelegte Ausbreitungsrichtung verlässt.

Räumliche Lichtmodulationseinrichtung zum Modulieren eines Wellenfeldes mit komplexer Information

Die Erfindung betrifft eine räumliche Lichtmodulationseinrichtung zum Modulieren eines Lichtwellenfeldes mit Videohologramminformation, insbesondere von diskreten komplexen Objektlichtpunktwerten von dreidimensionalen Szenen, deren Objektlichtpunkte holographisch rekonstruiert werden sollen. Die Erfindung ist vorrangig einsetzbar für
5 ein holographisches Rekonstruktionssystem, welches eine Positionssteuerung, einen Augenfinder und eine optische Wellennachführung aufweist, welche beim Positionswechsel eines Betrachters beim Betrachten der holographischen Rekonstruktion die optische Achse des propagierenden modulierten Lichtwellenfeldes der aktuellen Augenposition nachführt. Ein derartiges holographisches Rekonstruktionssystem wurde beispielsweise in der WO 2006/119760 A2 veröffentlicht.

10 Die Erfindung ist unabhängig von der Art der Bereitstellung der holographischen Information anwendbar und kann auch für ein System eingesetzt werden, welches gleichzeitig mehreren Betrachtern ein Betrachten von holographisch rekonstruierten Videoszenen ermöglicht.

Zum Rekonstruieren von dreidimensionalen Szenen mit Mitteln der Videoholographie erzeugt bekanntlich ein Lichtwellengenerator ein gerichtetes Lichtwellenfeld, welches interferenzfähige Lichtwellen zur räumlichen
15 Lichtmodulationseinrichtung emittiert. Im Interesse einer einfachen Ansteuerbarkeit der Lichtmodulationseinrichtung weist diese vorteilhaft eine reguläre Struktur von Modulatorelementen auf, die in Folge der räumlichen Anordnung von Objektlichtpunkten in einer zu rekonstruierenden Videoszene eine Modulatorsteuerung jeweils mit einem diskreten komplexen Hologrammwert kodiert.

Als „Kodieren“ soll im vorliegenden Dokument das diskrete Einstellen des aktuellen optischen
20 Transmissionsverhaltens von Modulatorzellen der Lichtmodulationseinrichtung verstanden werden. Im Ergebnis der Kodierung modulieren die Modulatorzellen die auf sie auftreffenden Lichtwellenteile des interferenzfähigen Lichtwellenfeldes so, dass mehrere modulierte ausgehende Lichtwellenteile durch konstruktive oder destruktive Interferenz die Vielzahl der Objektlichtpunkte einer mit einem Videosignal beschriebenen Szene im Raum der im Lichtweg nach den räumlichen Lichtmodulatormitteln rekonstruieren.

25 Im Sinne der vorliegenden Erfindung enthalten, diskrete komplexe Hologrammwerte' eine holographische Information zum diskreten Kodieren eines Modulationsfeldes mit einem Videohologramm. Dabei kodiert die Modulatorsteuerung jedes Modulatorelement mit Kodierwertkomponenten, wie einem Realteil und einem Imaginärteil im Sinne von komplexen Zahlen, um die Lichtübertragungsfunktion jedes Modulatorelements in der Amplitude- und/oder Phase zu beeinflussen.

30 Konventionelle Lichtmodulationseinrichtungen arbeiten in der Regel nur als Amplituden- oder der als Phasenmodulator und beeinflussen die Lichtwellen nur mit einem einzigen realen Lichtwert. D.h., diese Modulatoren verändern über ihre Zellenkodierung lokal entweder nur die Amplitude oder die Phaseninformation.

Für Videoholographie müssen Lichtmodulationseinrichtungen echtzeitfähig und vollfarbfähig sein sowie großvolumige Rekonstruktionen erlauben.

35 Jede Lichtmodulationseinrichtung enthält mindestens ein Modulationsfeld mit regulär angeordneten Modulatorelementen, wobei jedes Modulatorelement eine Anzahl von Modulatorzellen enthält. Üblicherweise wird ein Modulationsfeld durch einen räumlichen Lichtmodulator (SLM = Spatial Light Modulator) realisiert. Ein solcher räumlicher Lichtmodulator weist einzelne, als Pixel bezeichnete Modulatorzellen auf.

Entsprechend dem Rekonstruktionsprinzip von Hologrammen berechnet die Modulatorsteuerung gleichzeitig für alle
40 Modulatorelemente, die an der holographischen Rekonstruktion eines Objektlichtpunktes beteiligt sind, auf der Basis des entsprechenden diskreten komplexen Objektlichtpunktwertes der Szene diskrete komplexe Hologrammwerte.

Vor dem Kodieren werden zu jedem diskreten komplexen Hologrammwert die entsprechenden Kodierwertkomponenten gebildet. Die Kodierwertkomponenten für jedes Modulatorelement werden so berechnet und auf einander abgeglichen, dass alle Modulatorzellen jedes Modulatorelement im Zusammenwirken die vom Modulatorelement erwartete komplexe lokale Lichtmodulation realisieren. Die komplexen Objektlichtpunktwerte berechnet die Modulatorsteuerung beispielsweise vor dem Kodieren aus einem Videosignal mit Tiefeninformation zur Szene.

Aus der US 5,416,618 ist beispielsweise eine Lichtmodulationseinrichtung bekannt, welche eine Kombination mehrerer gestapelter räumlicher Lichtmodulatorfelder enthält. Beispielsweise sind ein Lichtmodulatorfeld mit Amplituden-Lichtmodulatorzellen und eines mit Phasen-Lichtmodulatorzellen oder zwei mit gleichartigen Lichtmodulatorzellen – bezüglich der Ausbreitungsrichtung des Lichts – gestapelt. Mit dem Stapeln entstehen die Modulatorelemente, die aus mehreren Einzelzellen bestehen und ein propagierendes Lichtwellenfeld mit komplexen Hologrammwerten modulieren. Von Nachteil ist jedoch, dass beim Zusammensetzen der Lichtmodulatorfelder ein erheblicher Justageaufwand zum Realisieren einer Deckungsgleichheit der Zellenstrukturen erforderlich ist.

Dieser Nachteil tritt nicht auf, wenn ein komplexer Hologrammwert durch eine Gruppe von mehreren Modulatorzellen mit einem Modulationsfeld realisiert wird, insbesondere wenn die mehreren Modulatorzellen bezüglich der Ausbreitungsrichtung des Lichts nebeneinander angeordnet sind.

Die Lichtmodulationseinrichtung gemäß der vorliegenden Patentanmeldung enthält deshalb mindestens ein Modulationsfeld mit regulär strukturierten und diskret kodierbaren Modulatorzellen, die bezüglich der optischen Wirkung und der elektrischen Ansteuerung jeweils zu einem gemeinsamen Modulationselement kombiniert sind. Die Modulationselemente der Lichtmodulationseinrichtung sind feldförmig angeordnet und modulieren räumlich strukturiert die interferenzfähigen Lichtwellen des propagierenden Lichtwellenfeldes. Das heißt, jedes Modulationselement verändert nur einen Lichtwellenteil im propagierenden Lichtwellenfeld, das aktuell auf das Modulationsfeld auftrifft entsprechend dem aktuellen Hologrammwert für das Modulationselement. Dafür stellt die Modulatorsteuerung für jede einzelne Modulatorzelle eine separate Wertekomponente des komplexen Objektwertes, der dem Modulationselement zugeordnet ist, bereit.

Jedes Modulationselement enthält also eine Kombination von Modulatorzellen, wobei die Modulatorzellen sowohl als Phasenmodulatorzelle oder als Amplitudenmodulatorzelle ausgeführt sein können. Das heißt, je nach konstruktiver Ausführung und lokaler Anordnung der Modulatorzellen kann jedes Modulationselement einem Lichtwellenteil des auftreffenden propagierenden Lichtwellenfeldes entweder mit einer Modulatorzelle in der Wellenphase und mit der anderen Modulatorzelle in der Wellenamplitude modulieren oder mit allen Modulatorzellen nur in der Wellenphase bzw. Wellenamplitude modulieren.

Das Grundprinzip der beschriebenen räumlichen Lichtmodulation mit Modulationselementen, welche nur Phasenmodulation nutzen, die pro Modulationselement durch verschiedene Wertekomponente voneinander unabhängig einstellbar sind, beispielsweise eine sogenannte Zwei-Phasenkodierung, hat der Anmelder bereits in der WO 2007/082707 A1 beschrieben.

Die oben genannte Veröffentlichung zeigt eine vorteilhafte Variante für eine Kodierung einer räumlichen Lichtmodulationseinrichtung mit mehreren Phasenwerten. Ein komplexer Objektwert wird dabei durch eine Summe von zwei Phasenkomponenten mit gleichem Amplitudenbetrag und unterschiedlichen Phasenwerten dargestellt und in zwei benachbarte Phasenmodulatorzellen des gleichen Modulationsfeldes kodiert. Das heißt, jeder komplexe Objektwert mit der Phase ψ und der Amplitude a zwischen 0 und 1 enthält dabei die Summe zweier komplexer Phasenkomponenten mit einem Amplitudeneinheitsbetrag und den Phasenwerten $\psi \pm \arccos a$. Die

internationale Patentpublikation erwähnt auch, dass die Anzahl der Phasenmodulatorzellen für ein Modulationselement nicht auf zwei beschränkt sein muss.

Eine räumliche Lichtmodulationseinrichtung, die ausschließlich Phasenmodulation nutzt, hat beachtliche Vorteile gegenüber einer Lichtwellenmodulation mit Modulatorzellen für Amplitudenmodulation. Eine
5 Lichtmodulationseinrichtung mit Zwei-Phasenkodierung realisiert eine größere Helligkeit der Rekonstruktion, weil die Modulatorzellen bei jeder Phaseneinstellung eine maximale Lichtdurchlässigkeit realisieren. Als weiterer Vorteil der Zwei-Phasenkodierung ist eine günstigere Wellenlängenabhängigkeit bei der Rekonstruktion, welches eine qualitativ hochwertige farbliches Rekonstruieren von Videoszenen ermöglicht.

Mit der genannten Zwei-Phasenkodierung soll erreicht werden, dass jene Lichtwellenteile des interferenzfähigen
10 Lichtwellenfeldes, welche die benachbarten Modulatorzellen eines Modulationselementes modulieren, die gleiche optische Interferenzwirkung zeigen, wie Lichtwellenteile, die eine solche einzelne Modulatorzelle moduliert, welche gleichzeitig mit allen Phasenkomponenten eines komplexen Objektastwertes ansteuerbar ist.

Dieses ist jedoch schwierig zu realisieren, da die zum Modulationselement kombinierten Modulatorzellen im Modulationsfeld mit einem räumlichen Versatz nebeneinander liegen und je nach Art des Hologramms abhängig von
15 der Augenposition eines Betrachters der rekonstruierte Objektlichtpunkte sieht, oder zum Beispiel bei einem Fourierhologramm von der Ortslage des Objektlichtpunktes, den sie rekonstruieren sollen Lichtwegdifferenzen, die auch als Gangunterschied bezeichnet werden, aufweisen. Dieser Versatz der Modulatorzellen bewirkt Phasendifferenzen zwischen den Modulatorzellen der Modulationselemente, die je nach Art des Hologramms von der Augenposition eines Betrachters oder von der gewünschten Winkellage des rekonstruierten Objektpunktes zur
20 optischen Achse des Systems abhängen und die Qualität der Rekonstruktion der Videoszene mindern und daher für jedes Modulationselement eine Korrektur erfordern. Auch bei einem holographischen Rekonstruktionssystem mit einer Positionssteuerung und einem Augenfinder, die wie oben beschrieben, das propagierende modulierte Wellenfeld beim Positionswechsel eines Betrachters optisch nachführen, ist eine Bewegungstoleranz des Betrachters von einigen Millimetern um die vom Augenfinder detektierte Augenposition herum vorteilhaft. Die auftretenden
25 Lichtwegdifferenzen würden diese Bewegungsfreiheit eines Betrachters vor dem holographischen Rekonstruktionssystem bei Betrachten einer holographischen Rekonstruktion erheblich einschränken.

Eine Lösung des dargestellten Problems, wird in der internationalen Patentanmeldung WO 2008/132206 A1 mit dem Titel „Lichtmodulator zur Darstellung komplexwertiger Informationen“ vorgeschlagen. Gemäß dieser Lösung liegt im
30 Lichtweg des Modulationsfeldes, also vor und/oder nach dem Modulationsfeld, vorzugsweise in engem Kontakt mit den Modulatorzellen eine strukturierte Verzögerungsschicht aus doppelbrechendem Material, welche zu zumindest für eine Modulatorzelle jedes Modulationselementes eine winkellageabhängige Anpassung des optischen Weges des modulierten austretenden Lichtwellenteils an die Lichtwege durch die restlichen Zellen des Modulationselementes herbeiführt. Die Schichtdicke dieser Verzögerungsschicht ist derart ausgebildet, dass die Verzögerungsschicht der winkellageabhängigen Änderung des optischen Weges zwischen den Modulatorzellen jedes Modulationselementes
35 durch Änderung der Lichtweglängen entgegenwirkt und diese zumindest teilweise kompensiert. Nachteil dieser Lösung ist, dass sie eine lateral sehr fein strukturierte aber gleichzeitig sehr dicke Schicht erfordert.

Die Offenlegungsschrift DE 2 058 418 mit dem Titel „Vorrichtung zum Bestimmen der Lage eines Gegenstandes in einem beliebigen Schnitt eines Strahlenbündels“ nutzt unter anderem eine Punktlichtquelle und eine Savart-Platte. Die Savart-Platte besteht dort aus einer Serienschaltung zweier doppelbrechender einachsiger plattenförmiger
40 Kristalle, welche mit ihren Hauptschnitten zueinander senkrecht gedreht angeordnet sind, wobei der Winkel zwischen der optischen Achse und der Kristalloberfläche bei den beiden Kristallen gleich ist. Das Dokument lehrt, dass die Savart-Platte ein einseitig zugeführten Lichtbündel einer Ursprungs-Punktlichtquelle ausgangsseitig in zwei linear polarisierte Teilbündel aufteilt, die zueinander senkrecht polarisiert sind und scheinbar aus zwei linear

5 polarisierten virtuellen Lichtquellen entspringen, welche eingangseitig in einer Ebene symmetrisch zur Ursprungslichtquelle liegen. Das Dokument lehrt außerdem, dass in jedem Punkt der Ebene, zu der die virtuellen Lichtquellen spiegelsymmetrisch angeordnet sind, keine Lichtwegdifferenz zwischen den zueinander senkrecht polarisierten Teilbündeln auftritt. Bei allen anderen Punkten treten Lichtwegdifferenzen zwischen den Teilbündeln auf.

In der vorliegenden Erfindung wird der Begriff Savart Platte allgemein für mindestens einen einzelnen doppelbrechenden plattenförmigen einachsigen Kristall verwendet. Ebenso ist das doppelbrechende Material nicht auf herkömmliche Kristalle wie zum Beispiel Quarz oder Calcit beschränkt, sondern kann beispielsweise auch durch ein orientiertes Polymer und/oder mit einer geeigneten Polymerschicht bzw. einer geeigneten Folie erzeugt werden.

10 Für die vorliegende Erfindung ist es unerheblich, wie die Modulatorzellen ausgeführt sind. Es kann beispielsweise ein Modulationsfeld mit Flüssigkristallzellen oder mit Elektrobenetzungszellen benutzt werden. Die Modulatorzellen können so beschaffen sein, dass das Modulationsfeld die Lichtwellen des Wellenfeldes beim Passieren oder beim Reflektieren modulieren.

15 Eine Alternative zu einer räumlichen Lichtmodulationseinrichtung mit Phasenmodulatorzellen kann im Modulationsfeld jedoch auch ausschließlich Amplitudenmodulatorzellen enthalten, wobei jedes Modulationselement mehrere Amplitudenmodulatorzellen enthält. Eine derartige Kodierung für eine Lichtmodulationseinrichtung die zwei Amplitudenmodulatorzellen, eine für Real- und die andere für Imaginärteil einer komplexen Zahl, enthält, ist als Bias-Kodierung bekannt. Eine andere derartige Kodierung für eine Lichtmodulationseinrichtung, die drei Amplitudenmodulatorzellen enthält, ist als Burckhardkodierung bekannt.

20 Unabhängig von der Art der Modulatorzellen im Modulationsfeld tritt bei einem komplexen Modulationselement mit mehreren benachbarten Modulatorzellen immer in Folge der winkellageabhängigen Änderung der Lichtweglängen zwischen den Modulatorzellen ein Phasenfehler auf, der die Qualität der Rekonstruktion wesentlich mindert.

25 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für eine räumliche Lichtmodulationseinrichtung, die komplexe Modulationselemente mit mehreren, lateral in ihren Positionen versetzte Modulatorzellen aufweist, Kompensationsmittel zu schaffen, welche Lichtwegdifferenzen zwischen den versetzten Modulatorzellen des selben Modulationselementes kompensieren. Darüber hinaus soll die Kompensation zumindest weitgehend unabhängig von Schwankungen der zum Modulieren benutzten Lichtwellenlängen sein, welche beispielsweise durch Temperaturänderungen in den Lichtquellen entstehen, welche zum Generieren des Lichtwellenfeldes dienen.

30 Ein von einem Modulationselement ausgehender, modulierter Lichtwellenteil soll jeweils beim holographischen Rekonstruieren so wirken, als käme der Lichtwellenteil ursprünglich von jeweils einer einzigen kompakten Modulatorzelle, welche mit diskreten komplexen Hologrammwerten modulierbar ist. Derartig mit den Mitteln der Erfindung aufbereitete Lichtwellenteile können in sich keine durch Lichtwegdifferenzen bewirkte Phasendifferenzen enthalten.

35 Die Erfindung geht von einer Lichtmodulationseinrichtung aus, die mindestens ein Modulationsfeld aufweist, welches einzelne bzw. diskret kodierbare Modulatorzellen aufweist. Die Modulatorzellen sind zu Modulationselementen kombiniert. Mit den Modulatorzellen sind interferenzfähige Lichtwellen eines propagierenden Lichtwellenfeldes räumlich strukturiert mit holographischer Information modulierbar. Die Modulatorzellen eines jeden Modulationselementes sind in dem Modulationsfeld bezüglich der Ausbreitungsrichtung des propagierenden Lichtwellenfeldes nebeneinander angeordnet und jedes Modulationselement ist mit einem vorgebbaren bzw.
40 diskreten komplexen Objektwert kodierbar, um räumlich arrangierte Objektlichtpunkte holographisch zu rekonstruieren bzw. darzustellen.

Um die genannten Nachteile zu vermeiden, sind bei der Lichtmodulationseinrichtung gemäß der Erfindung den Modulatorzellen des Modulationsfeldes (ME) Lichtwellenmultiplexmittel zugeordnet, mit welchen für jedes Modulationselement die durch die Modulatorzellen modulierten Lichtwellenteile mittels Refraktion oder Diffraktion ausgangsseitig zu einem modulierten Lichtwellenmultiplex derart zusammenfügbar sind, dass der modulierte Lichtwellenmultiplex das Modulationselement im Wesentlichen an einem gemeinsamen Ort – d.h. im Wesentlichen räumlich überlappend – und im Wesentlichen mit gleicher Ausbreitungsrichtung verlässt.

Im Sinne der vorliegenden Erfindung sollen im vorliegenden Dokument unter „Lichtwellenmultiplexmittel bzw. optischen Multiplexmitteln zum räumlichen Multiplexen von ausgehenden Lichtwellenteilen“ eine strukturierte optische Anordnung verstanden werden, welche im Wesentlichen parallel gerichtet eintreffende Lichtwellenteile, die an verschiedenen Orten in eine Eintrittsfläche der optischen Anordnung eintreten, im Innern der optischen Anordnung bzw. der Bauelementeinheit die Lichtwellenteile durch Struktur von Wellenumlenkelementen so umlenken, dass zumindest bestimmte Lichtwellenteile die optische Anordnung an einer gemeinsamen Austrittsposition in einer Austrittsfläche mit einer im Wesentlichen einzigen Ausbreitungsrichtung verlassen.

Vorteilhaft sind die optischen Mittel zum räumlichen Multiplexen als flache optische Platteneinheit ausgeführt, die möglichst nahe zum Modulationsfeld angeordnet ist und eine Flächenstruktur mit optischen Wellenumlenkelementen aufweist, die in ihrer Form, Größe und Lage jeweils den Modulatorzellen in den Modulationselementen deckungsgleich zugeordnet sind und bei der wenigstens für einen Teil der Modulatorzellen, der Ort des Lichtwellenaustritts gegenüber dem Ort des Lichtwelleneintritts versetzt angeordnet ist.

Der gewünschte räumliche Lichtwellen-Multiplex pro Modulationselement wird dadurch erreicht, dass wenigstens einem Teil der Modulatorzellen jedes Modulationselementes Wellenumlenkelemente zugeordnet sind, welche in ihrem Inneren eine von der Systemachse des Modulationsfeld abweichende optische Transferachse aufweisen, so dass die Lichtwellenteile aller Modulatorzellen jedes Modulationselementes an der genannten gemeinsamen Austrittsposition in einer Austrittsfläche mit einer einzigen Ausbreitungsrichtung verlassen. Dabei realisieren die optischen Multiplexmittel für jedes Modulationselement eine separate Wellenaustrittsposition.

Als optische Mittel zum räumlichen Multiplexen können strukturierte Flachoptiken wie Folienanordnungen eingesetzt werden, die Volumenhologramme, Mikroprismenfelder und/oder doppelbrechende optische Elemente enthalten, die in ihrer Struktur an die Form, Größe und Lage der Modulatorzellen in den Modulationselementen angepasst sind.

Polarisations-Gitter als Strahlvereiniger

Falls Lichtteile, die unterschiedliche Modulatorzellen durchlaufen, einen unterschiedlich langen optischen Weg zurücklegen, ist es zum Erhalten einer vorgebbaren bzw. gewünschten Lichtinterferenz im Allgemeinen erforderlich, dass die optische Wegdifferenz des die eine Modulatorzelle durchlaufenden Lichts gegenüber dem die andere Modulatorzelle durchlaufenden Lichts mittels einer Offset-Phase korrigiert wird. Hinzu kommen die schon erwähnten, durch Temperaturschwankungen hervorgerufenen Wegänderungen der Lichtteile, die unterschiedliche Modulatorzellen durchlaufen.

Dies kann beispielsweise durch eine Anordnung mit einer symmetrischen Lichtablenkung erfolgen, wie sie in Fig. 8 gezeigt ist. So wird zuerst das von der einen Modulatorzelle kommende Licht und im zweiten Teil der Anordnung Licht von einer anderen Modulatorzelle (Pixel) abgelenkt, jeweils um den halben Modulatorzellenabstand bzw. Pixelpitch. Diese Anordnungen benötigt wahlweise entweder zwei zueinander gedrehte Savart Platten oder insgesamt vier anstelle von zwei Volumengittern (siehe z.B. Fig. 6 oder 7) und zusätzlich eine polarisationsdrehende Schicht zwischen den beiden Savart Platten oder den jeweils zwei Volumengittern.

Bekannt sind neben Volumengittern auch andere Typen von Gitterstrukturen, unter anderem Polarisationsgitter (Polarization Grating): Diese werden als Beugungsgitter oder zur Strahlablenkung mit einer maximalen Effizienz in nur einer der ersten Ordnungen (nur +1. oder nur -1. Ordnung) verwendet, im Gegensatz zu anderen bekannten Gittern die häufig 50 % in der +1. und 50 % in der -1. Ordnung aufweisen.

- 5 Ein Polarisationsgitter hat die Eigenschaft, dass es zwar linear polarisiertes Licht zu 50% in die +1. und 50% in die -1. Ordnung lenkt, dass aber zirkular polarisiertes Licht zu 100 % in einer dieser ersten Ordnungen abgelenkt wird. In welche Ordnung hängt davon ab, ob es sich um rechtszirkular oder linkszirkular polarisiertes Licht handelt.

Bekannt sind unter anderem auch achromatische Polarisationsgitter die eine hohe Beugungseffizienz für verschiedene Wellenlängen haben, was in der Literaturstelle [1] beschrieben ist.

- 10 Eine weitere Aufgabenstellung der vorliegenden Erfindung ist es, eine Kombination von zwei Phasenpixeln mit einer Anordnung aus einer minimalen Anzahl von Gitterstrukturen zu erreichen, und zwar so, dass der Strahlverlauf für beide Phasenpixel symmetrisch erfolgt und damit toleranter zum Beispiel gegen Dickenschwankungen durch Temperatur und andere Umgebungseinflüsse ist.

- 15 Dies wird erreicht, indem erstens im Unterschied zu den bisherigen Verfahren eine strukturierte $\lambda/4$ Schicht (anstelle der $\lambda/2$ Schicht) am Ausgang der beiden Phasenpixel verwendet wird.

Durch eine unterschiedliche Orientierung der $\lambda/4$ Schichten an beiden Modulatorzellen bzw. Pixeln wird ausgehend von linearer Polarisation am Ausgang des Modulationsfeldes bzw. des SLM von jeweils einem der beiden Phasenpixel eines Modulationselements (Makropixel) linkszirkulare Polarisation und von dem anderen rechtszirkulare Polarisation erzeugt.

- 20 Es werden zweitens keine Volumengitter verwendet, sondern stattdessen Polarisationsgitter. Das Polarisationsgitter lenkt wegen der unterschiedlichen zirkularen Polarisation Licht von beiden Phasenpixeln in entgegengesetzte Richtung ab. Das Licht von beiden Pixeln bewegt sich dann durch einen Abstandshalter – ein Element ähnlich wie in dem Volumengitterstapel – aufeinander zu, aber in diesem Fall symmetrisch. Weil beide Strahlen abgelenkt sind, kann als weiterer Vorteil gegebenenfalls der Abstandshalter dünner ausgeführt werden, als bei der Verwendung von
25 Volumengittern. Durch ein zweites Polarisationsgitter wird das Licht wieder gerade gerichtet bzw. aus zwei unterschiedlichen Ausbreitungsrichtungen zu einer gemeinsamen Ausbreitungsrichtung umgelenkt.

- Mittels eines Polariators erfolgt dann – wie bei Savart und bei Volumengitterstapel – die Kombination des überlagerten Lichtes zu einem komplexen Wert. Allerdings hat dieser Polarisator im Vergleich zu der Anordnung mit Savart-Platte oder Volumengittern eine um 45° geänderte Orientierung seiner Durchlassrichtung – nämlich vertikal
30 oder horizontal.

Das kann anhand einer Jones-Matrix Rechnung beschrieben werden.

Rechts zirkular polarisiertes Licht hat einen Jones Vektor proportional zu

$$\begin{pmatrix} 1 \\ j \end{pmatrix}$$

Links zirkular polarisiertes Licht hat den Jones Vektor

- 35
$$\begin{pmatrix} 1 \\ -j \end{pmatrix}$$

Hat das Licht von beiden Phasenpixel (Modulatorzellen) die Phasen φ_1 und φ_2 , so ergibt die Summe den Vektor

$$\begin{pmatrix} e^{j\varphi_1} + e^{j\varphi_2} \\ j(e^{j\varphi_1} - e^{j\varphi_2}) \end{pmatrix}$$

Ein horizontaler Polarisator hat die Jones Matrix

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

5 Nach dem Polarisator wird also eine komplexe Zahl

$$e^{j\varphi_1} + e^{j\varphi_2}$$

realisiert, wie das bei der Zweiphasencodierung beabsichtigt ist.

Alternativ würde bei einem vertikalen Polarisator die komplexe Zahl

$$e^{j\varphi_1} - e^{j\varphi_2}$$

10 dargestellt.

Dies entspricht den Ergebnissen, wie man sie für Volumengitter, linear polarisiertes Licht und Polarisatoren unter +45 Grad oder -45 Grad erhalten würde.

Die Strahlkombination soll bei einem Farbdisplay erfolgen insbesondere für rotes grünes und blaues Licht.

15 Verwendet werden kann ein achromatisches Gitter wie in [1] beschrieben. Möglich ist es aber auch, ein einfacheres Gitter zu verwenden, das nur für eine Wellenlänge optimiert ist. Für andere Wellenlängen gibt es Beugungsverluste. Das ungebeugte Licht kann aber durch Aperturen blockiert werden, so dass es den Betrachter eines holografischen Displays nicht stört.

Auch ein mit der Wellenlänge variabler Ablenkwinkel kann durch Aperturen ausgeglichen werden, wie schon in Zusammenhang mit den früheren Lösungen vorgeschlagen.

20 Fig. 9 zeigt die Funktionsweise eines Polarisationsgitters nach dem Stand der Technik nach der Literaturstelle [2]. Gezeigt ist dort ein dynamisches Element. In der Erfindung sollen jedoch passive Elemente eingesetzt werden.

Fig. 10 zeigt den Strahlverlauf in einem Volumengitter (unsymmetrisch). Dem Pixel P01 ist eine $\lambda/2$ -Platte mit einer ersten Orientierung nachgeordnet und dem Pixel P02 ist eine $\lambda/2$ -Platte mit einer anderen Orientierung nachgeordnet. Fig. 11 zeigt den Strahlverlauf in einer Anordnung mit Polarisationsgittern (symmetrisch). Dem Pixel 25 P01 ist eine $\lambda/4$ -Platte mit einer ersten Orientierung nachgeordnet und dem Pixel P02 ist eine $\lambda/4$ -Platte mit einer anderen Orientierung nachgeordnet.

Fig. 12 zeigt eine beispielhafte Anordnung: Zwei Pixel (kodierbare Modulatorzellen) P1, P2, aus denen linear polarisiertes Licht (rote Pfeile) austritt, sind gefolgt von einer strukturierten $\lambda/4$ Schicht QWP. Eingezeichnet ist die optische Achse die jeweils bei dem einen Pixel P1 um +45 Grad und bei dem anderen Pixel P2 um -45 Grad zur 30 Polarisationsrichtung des Lichtes aus dem SLM (Modulationsfeld) gedreht ist und durch die jeweils zirkular polarisiertes Licht generiert wird (eingezeichnet als rote Kreise).

Gemäß dem Ausführungsbeispiel aus Fig. 12 lenkt ein erstes Polarisationsgitter Pg1 das Licht entsprechend seiner Polarisation ab. Nachdem das Licht einen Abstandshalter DL (dünne Glasplatte oder Polymerfolie) geeigneter Dicke durchlaufen hat und räumlich überlagert ist, wird es durch ein zweites Polarisationsgitter Pg2 entgegengesetzt abgelenkt, so dass Licht von beiden Pixeln parallel austritt. Dahinter ist ein linearer Polarisator Pol angeordnet, wahlweise unter 0 Grad oder 90 Grad.

Polarisationsgitter selbst haben die Eigenschaft, dass sie die Drehrichtung der zirkularen Polarisation verändern, von rechtszirkular nach linkszirkular und umgekehrt (dies ist ebenfalls eingezeichnet).

Diese Tatsache ist für die Anwendung als Strahlkombinierer vorteilhaft, denn es erlaubt die Verwendung von zwei gleichen Gittern (mit gleicher Orientierung der Moleküle im Gitter) in der Anordnung.

Zirkular polarisiertes Licht wird vom ersten Gitter abgelenkt, ändert dabei die Drehrichtung seiner Polarisation und wird deshalb vom zweiten gleichen Gitter in die entgegengesetzte Richtung angelenkt. Zwei gleiche Gitter nacheinander im Strahlengang führen also zu dem gewünschten Parallelversatz.

Insoweit weist gemäß einer bevorzugten Ausführungsform das Lichtwellenmultiplexmittel mindestens ein Polarisationsmittel und eine erste und eine zweite Ablenkungsschicht Vg1, Vg2 auf. Mit dem Polarisationsmittel ist dem eine erste Modulatorzelle 1 passierenden Licht eine vorgebbare erste Polarisation aufprägbar. Mit dem Polarisationsmittel ist dem eine zweite Modulatorzelle 2 passierenden Licht eine vorgebbare zweite Polarisation aufprägbar. In Lichtausbreitungsrichtung ist die erste Ablenkungsschicht Vg1 dem Polarisationsmittel nachgeordnet. In Lichtausbreitungsrichtung ist der ersten Ablenkungsschicht Vg1 in einem vorgebbaren Abstand d die zweite Ablenkungsschicht Vg2 nachgeordnet. Die vorgebbare erste Polarisation könnte senkrecht zur vorgebbaren zweiten Polarisation sein. Alternativ könnte die vorgebbare erste Polarisation zirkular sein und einen entgegengerichteten Drehsinn zu einer vorgebbaren zweiten zirkularen Polarisation aufweisen. Falls das Licht bereits geeignet strukturiert polarisiert ist, beispielsweise aufgrund der Eigenschaft der verwendeten Lichtquelle, ist es grundsätzlich nicht erforderlich, ein Polarisationsmittel zu verwenden.

Gemäß Fig. 7 ist die optische Eigenschaft der ersten Ablenkungsschicht Vg1 derart ausgestaltet, dass das die erste Modulatorzelle 1 passierende Licht im Wesentlichen nicht abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle 2 passierende Licht um einen ersten vorgebbaren Winkel abgelenkt wird. Die optische Eigenschaft der zweiten Ablenkungsschicht Vg2 ist derart ausgestaltet, dass das die erste Modulatorzelle 1 passierende Licht im Wesentlichen nicht abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle 2 passierende Licht um einen zweiten vorgebbaren Winkel abgelenkt wird. Der Betrag des zweiten vorgebbaren Winkels entspricht im Wesentlichen dem Betrag des ersten vorgebbaren Winkels.

Gemäß Fig. 8 sind in Lichtausbreitungsrichtung der zweiten Ablenkungsschicht Vg2 eine dritte und eine vierte Ablenkungsschicht Vg3, Vg4 jeweils in einem vorgebbaren Abstand nachgeordnet. Die optische Eigenschaft der dritten Ablenkungsschicht Vg3 ist derart ausgestaltet, dass das die erste Modulatorzelle 1 passierende Licht um einen dritten vorgebbaren Winkel abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle 2 passierende Licht im Wesentlichen nicht abgelenkt wird. Die optische Eigenschaft der vierten Ablenkungsschicht Vg4 ist derart ausgestaltet, dass das die erste Modulatorzelle 1 passierende Licht um einen weiteren vierten vorgebbaren Winkel abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle 2 passierende Licht im Wesentlichen nicht abgelenkt wird. Der Betrag des dritten vorgebbaren Winkels könnte im Wesentlichen gleich dem Betrag des vierten vorgebbaren Winkels sein.

Das Polarisationsmittel könnte eine Verzögerungsplatte mit mehreren Bereichen unterschiedlicher Orientierungen aufweisen. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn die Funktionsweise der Modulatorzellen bereits auf polarisiertem Licht basiert oder zumindest durch die Verwendung von polarisiertem Licht nicht nachteilig beeinflusst wird. Andernfalls muss ein strukturierter Polarisator mit mehreren Bereichen unterschiedlicher Orientierungen verwendet

werden, in denen Licht jeweils einer Polarisationsrichtung absorbiert wird. Dies wäre aber mit Lichtverlust verbunden. Als ein strukturierter Polarisator in diesem Zusammenhang ist insbesondere zu verstehen, dass der Polarisator erste räumliche Bereiche und zweite räumliche Bereiche aufweist, welche dem mit dem Polarisator wechselwirkenden Licht jeweils eine vorgebbare Polarisation aufprägen, wobei die ersten räumlichen Bereiche einer Gattung von Modulatorzellen und die zweiten räumlichen Bereiche einer anderen Gattung von Modulatorzellen zugeordnet sind. Die Verzögerungsplatte könnte in Form einer $\lambda/2$ -Platte oder einer $1x + \lambda/2$ bzw. $1x - \lambda/2$ Platte ausgebildet sein, d.h. die Verzögerungsplatte weist eine relative Phasenverzögerung von $\lambda/2$ auf. Alternativ könnte das Polarisationsmittel eine erste Verzögerungsplatte mit einer ersten Orientierung und eine zweite Verzögerungsplatte einer zweiten Orientierung aufweisen. Die erste und die zweite Verzögerungsplatte könnten jeweils in Form einer $\lambda/2$ -Platte ausgebildet sein. Dann ist die erste Verzögerungsplatte mit der ersten Orientierung dem die erste Modulatorzelle 1 durchlaufenden Licht zugeordnet. Die zweite Verzögerungsplatte mit der zweiten Orientierung ist dem die zweite Modulatorzelle 2 durchlaufenden Licht zugeordnet.

Gemäß den Fig. 11 und 12 ist die optische Eigenschaft der ersten Ablenkungsschicht Pg1 derart ausgestaltet, dass das die erste Modulatorzelle P01 passierende Licht um einen ersten vorgebbaren Winkel in eine erste Richtung abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle P02 passierende Licht um einen zweiten vorgebbaren Winkel in eine zweite Richtung abgelenkt wird. Die optische Eigenschaft der zweiten Ablenkungsschicht Pg2 ist derart ausgestaltet, dass das die erste Modulatorzelle P01 passierende Licht um den zweiten Winkel abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle P02 passierende Licht um den ersten Winkel abgelenkt wird. Der erste Winkel könnte dem Betrag nach im Wesentlichen gleichen dem Betrag des zweiten Winkels sein.

Das Polarisationsmittel könnte eine Verzögerungsplatte mit mehreren Bereichen unterschiedlicher Orientierungen aufweisen. Dies ist insbesondere vorteilhaft wenn die Funktionsweise der Modulatorzellen bereits auf polarisiertem Licht basiert oder zumindest durch die Verwendung von polarisiertem Licht nicht nachteilig beeinflusst wird. Andernfalls muss ein strukturierter Zirkularpolarisator mit mehreren Bereichen unterschiedlicher Orientierung verwendet werden. Dies wäre aber mit Lichtverlust verbunden. Die Verzögerungsplatte könnte in Form einer $\lambda/4$ -Platte oder einer $1x + \lambda/4$ bzw. $1x - \lambda/4$ Platte ausgebildet sein, d.h. die Verzögerungsplatte weist eine relative Phasenverzögerung von $\lambda/4$ auf. Alternativ könnte das Polarisationsmittel mindestens eine erste Verzögerungsplatte mit einer ersten Orientierung und eine zweite Verzögerungsplatte einer zweiten Orientierung aufweisen. Die erste und die zweite Verzögerungsplatte könnten jeweils in Form einer $\lambda/4$ -Platte ausgebildet sein. In diesem Fall ist die erste Verzögerungsplatte mit der ersten Orientierung dem die erste Modulatorzelle P01 durchlaufenden Licht zugeordnet. Die zweite Verzögerungsplatte mit der zweiten Orientierung ist dem die zweiten Modulatorzelle P02 durchlaufenden Licht zugeordnet.

Eine Ablenkungsschicht Vg1, Vg2, Vg3, Vg4, Pg1, Pg2 könnte eine ein Hologramm und/oder ein Volumengitter und/oder ein Bragg-Gitter aufweisende Schicht oder ein Polarisationsgitter aufweisen.

In Lichtausbreitungsrichtung könnte den Ablenkungsschichten Vg1, Vg2, Vg3, Vg4, Pg1, Pg2 ein als Analysator wirkendes Polarisationsmittel WGP, Pol vorgebbarer optischer Eigenschaft nachgeordnet sein.

Bei sämtlichen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung könnte ein Apodisationsbauteil APF vorgesehen sein, welches auf die jeweils zu dem modulierten Lichtwellenmultiplex vereinigten Lichtstrahlen eines Modulationselements ME wirkt. Das Apodisationsbauteil APF könnte ein im Wesentlichen von der jeweiligen Wellenlänge des verwendeten Lichts unabhängiges neutrales Intensitätsprofil in einer Richtung quer zur Lichtausbreitungsrichtung aufweisen. Ein solches Intensitätsprofil könnte eine analytisch beschreibbare Apodisationsfunktion aufweisen, z.B. eine Cosinus- oder Dreieck-Funktion oder eine unter den Namen Blackman, Hamming oder Welch bekannte Apodisationsfunktion. Im Konkreten könnte das Apodisationsbauteil APF entsprechende Apodisationsmasken aufweisen, welche jeweils einem Modulationselement ME zugeordnet sind. Eine solche Apodisationsmaske, wie z.B. in Fig. 16 links in einer

Seitenansicht gezeigt, wirkt dann auf den modulierten Lichtwellenmultiplex der vereinigten Lichtstrahlen für dieses Modulationselement ME. Die Apodisationsmaske könnte z.B. dem als Analysator dienenden Polarisator WGP an der mit PC gekennzeichneten Stelle in Fig. 13 nachgeordnet werden.

5 Für farbige Anwendungen könnte ein entsprechend ausgebildetes Apodisationsbauteil APFC vorgesehen sein, welches auf die jeweils zu dem modulierten Lichtwellenmultiplex vereinigten Lichtstrahlen eines Modulationselements ME wirkt. Das Apodisationsbauteil APFC weist mindestens zwei im Wesentlichen von der jeweiligen Wellenlänge des verwendeten Lichts abhängige Intensitätsprofile auf. Die Intensitätsprofile sind um einen vorgebbaren Wert lateral in einer Richtung quer zur Lichtausbreitungsrichtung gegeneinander versetzt. Dies ist in Fig. 16 rechts in einer
10 Seitenansicht gezeigt. Die Intensitätsprofile können in einzelnen Schichten APFSR, APFSG, APFSB bezüglich der Lichtausbreitungsrichtung hintereinander angeordnet sein.

Herstellung passiver Schichten

In den Literaturstellen [1] bzw. [2] sind aktiv schaltbare LCPG beschrieben.

Diese werden hergestellt, indem Orientierungsschichten eines photopolymerisierbaren Materials mit UV Licht belichtet werden. Dabei werden zwei UV Lichtquellen mit entgegengesetzt zirkularer Polarisation verwendet und zur
15 Überlagerung gebracht. Die Gitterkonstante wird eingestellt über den relativen Winkel in dem sich die Lichtquellen überlagern. Sind Substrate mit entsprechenden Orientierungsschichten vorhanden, wird eine LC Schicht, deren Dicke zum Beispiel durch Spacerkugeln vorgegeben wird zwischen die Substrate gefüllt.

Bekannt sind aus anderen Anwendungen aber auch LC Materialien, die nach der Ausrichtung auf einem Substrat vernetzt und damit quasi in ihrer Orientierung eingefroren werden. Für die Anwendung als Strahlkombinierer ist die
20 Verwendung passiver LCPG vorteilhaft. Daher wird hier die Verwendung von Polymermaterialien vorgeschlagen.

Strahlkombinierer für RGB

Bezüglich der Wellenlänge des verwendeten Lichtes gibt es zwei unterschiedliche Effekte die zu beachten sind:

- (a): die Beugungseffizienz eines Gitters ändert sich im Allgemeinen mit der Wellenlänge. Dies ist im Allgemeinen abhängig von der Dicke des Gitters.
- 25 (b): Der Beugungswinkel ändert sich im Allgemeinen auch mit der Wellenlänge. Dieser ist abhängig vom Verhältnis der Wellenlänge zur Gitterkonstante.

Zu (a) Beugungseffizienz:

Nach dem Stand der Technik wird in [1] ein spezielles Polarisationsgitter beschrieben, welches eine hohe Beugungseffizienz für den gesamten sichtbaren Bereich aufweist.

30 Dieses Gitter hat aber nach wie vor unterschiedliche Winkel für rot grün und blau.

Nach dem Stand der Technik wird auch beschrieben für ein aktives LCPG durch Ansteuerung und partielle Ausrichtung der LC Moleküle im Feld die effektive Doppelbrechung so zu verändern, dass wahlweise

$d \Delta n_{\text{eff}}(V) = \lambda/2$ je nach angelegter Spannung für verschiedene Wellenlängen erfüllt ist.

Dies steigert ebenfalls die Beugungseffizienz, verändert aber nicht die Beugungswinkel.

35 Dies könnte als Strahlkombinierer in einem holografischen Display mit zeitlichem Multiplexing der Farben verwendet werden, wobei jeweils das Gitter durch Anlegen einer Spannung auf die aktuell angezeigte Farbe angepasst wird. Ein

aktives Gitter setzt die Ansteuerung des Gitters selbst und deren Koordinierung mit der Steuerung der Lichtquellen und des SLM voraus.

Für ein räumliches Multiplexing der Farben bestünde die Möglichkeit, während der Herstellung pixeliert (streifenförmig) unterschiedlich hohe Spannungen an das LC material anzulegen und es dann auszupolymerisieren.

5 Zu (b) Beugungswinkel:

Für den Einsatz als Strahlkombinier ist es aber insbesondere wichtig, gleiche Beugungswinkel für rotes, grünes und blaues Licht zu erreichen. Die vorgenannten Ansätze lösen dieses Problem nicht.

10 Eine bevorzugte Möglichkeit, ein gleichen Beugungswinkel zu erreichen, besteht in einem räumlichen Multiplexing der Gitterperiode angepasst auf ein räumliches Farbmultiplexing des SLM. Dabei wird bei der Belichtung der Orientierungsschichten der Substrate (siehe Abschnitt „Herstellung passiver Schichten“) eine Maske verwendet die jeweils streifenweise etwa 2/3 der Fläche abdeckt, äquivalent zu den Farbpixeln der beiden anderen Farben. Für die belichteten UV Lichtquellen wird der Winkel zwischen den Lichtquellen angepasst, um eine passende Gitterkonstante für eine Farbe (RGB) zu erhalten. Dieser Vorgang wird dreimal mit verschobener Maske und geändertem Winkel wiederholt.

15 Im Gegensatz zu Bragg Gittern, bei denen mehrere Gitter überlagert oder mehrere Gitter in Serie hintereinander verwendet werden könnten, erhält man also hier drei ineinander verschachtelte Gitter, die sich nicht überlagern.

Eine Kombination der Gitterstruktur nach Stand der Technik [1] zur hohen Beugungseffizienz für alle Wellenlängen kann mit dieser Ausgestaltung für gleichen Beugungswinkel der Wellenlängen kombiniert werden.

20 Wahlweise kann das Verfahren aber auch für sich allein verwendet werden, wenn für eine Wellenlänge eine hohe Beugungseffizienz und für andere Wellenlängen das nicht gebeugte Licht anderweitig gefiltert wird, so dass es nicht zum Betrachter gelangt. Dazu kann man Austrittsposition, Austrittswinkel und gegebenenfalls Polarisation dieses Lichtes nutzen.

Zahlenbeispiele

25 Bei Polarisationsgittern gibt es nach dem Stand der Technik eine Limitierung im Verhältnis von Schichtdicke zu Gitterkonstante. Dies hängt auch von Materialparametern des LC ab, wie z.B. seiner Doppelbrechung.

Da für die Schichtdicke d die Bedingung $d \Delta n = \lambda/2$ erfüllt sein muss (Δn = Brechungsindexunterschied, λ = Wellenlänge des Lichts), folgt daraus eine minimal zulässige Gitterkonstante und damit ein maximal erreichbarer Ablenkwinkel.

30 Gitter mit etwa $6 \mu\text{m}$ Gitterkonstante werden bereits als experimentell realisiert beschrieben. Theoretische Grenzen dürften etwa bei $2 \mu\text{m}$ liegen. Die Ablenkwinkel liegen dann im Bereich von (2 mal) 5 Grad.

Typischerweise kann man erwarten, dass die Anordnung Gitter + Abstandshalter + Gitter etwa 1/2 bis 1/3 der Dicke einer Savart Platte aus einem Material mit gleichem Δn ausmacht. Dabei ist das Polarisationsgitter selbst nur wenige μm dick (typisch 2 bis 3 μm). Der Abstandshalter würde im Bereich von ca. 200 bis 300 μm (bei ca. 4 bis 6 μm Gitterkonstante) für ein 60 μm Pixelpitch liegen.

35 Polarisationsgitterstapel

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, anstelle eines einzelnen Polarisationsgitters einen Polarisationsgitterstapel von mehreren hintereinander angeordneten Polarisationsgittern zu verwenden. Polarisationsgitter sind empfindlich bezüglich des Einfallswinkels.

5 Für passive Gitter mit einem festen Gesamtablenkwinkel ist es aber möglich, aufeinander folgende Gitter auf sukzessiv schrägeren Einfall zu optimieren.

Damit kann prinzipiell der Ablenkwinkel erhöht und die Gesamtdicke reduziert werden, indem mehrere Polarisationsgitter in Serie verwendet werden.

Achromatische refraktive Strahlzusammenführung

10 Für die Vereinigung zweier, die Phase schiebenden Pixel (Modulatorzellen) zu einem resultierenden Sekundär-Pixel (Modularelement), der komplexe Werte erzeugt, d.h. Phase und Amplitude des mit den Pixeln wechselwirkenden Lichts modulieren bzw. verändern kann, gibt es – wie bereits beschrieben – eine refraktive (Savart-Platte) und eine diffraktive (Volumengitter) Lösung.

Gegenstand dieser Ausführung ist es insbesondere, eine achromatische Lösung für die refraktive Lösung zu beschreiben, wenn eine zeitsequentielle Farbdarstellung erfolgt.

15 In Fig. 13 ist die Erzeugung eines komplexwertigen Pixels mittels zweier Phasenpixel dargestellt. Gezeigt ist die Savart-Platte SP, die in Verbindung mit einer strukturierten Halbwellenlängenplatte ($\lambda/2$) und einem Polarisator WPG zur Erzeugung eines komplexwertigen Pixels PC verwendet wird. Das beispielsweise cos-förmige Apodisationsprofil des resultierenden Pixels ist nicht dargestellt, d.h. der Pixel ist als gleichmäßig transparent gezeichnet. Der Brechungsindexunterschied zwischen ordentlicher und außerordentlichen Achse beträgt $\Delta n_{oe} = 0,2$, was bei einem
20 Ablenkwinkel des TM polarisierten Lichtes von $\alpha_{TM} = 7,384^\circ$ deg und $0,1296 \mu\text{m}$ Strahlversatz je μm Plattendicke bedingt. Die Fig. 13 gibt die Maßstäbe getreu wieder.

25 Innerhalb eines doppelbrechenden Materials breitet sich der außerordentliche Strahl in einem Winkel relativ zum ordentlichen Strahl aus. An der Austrittsfläche aus dem doppelbrechenden Material in ein nachfolgendes optisch isotropes Medium werden aber ordentlicher und außerordentlicher Strahl wieder parallel gerichtet. Licht einer bestimmten Polarisation erhält also an der Eingangsseite des doppelbrechenden Materials eine Ablenkung unter einem Winkel der von der Größe der Doppelbrechung und der Orientierung der optischen Achse des doppelbrechenden Materials abhängt und an der Ausgangsseite eine entgegengerichtete Ablenkung. Somit ergibt sich ein Parallelversatz, der von der Dicke des doppelbrechenden Mediums abhängt. Dies ist insbesondere bei einer planparallelen Schicht eines doppelbrechenden Mediums der Fall.

30 Das Problem, welches die Dispersion bei einer zeitsequentiellen Darstellung darstellt, ist in Fig. 14 gezeigt. Gezeigt ist die Savart-Platte SP, die, bedingt durch die Dispersion $n = n(\lambda)$ für die rote und für die blaue Wellenlänge einen Fehler Δs im lateralen Versatz s bewirkt. Tritt innerhalb der Savart-Platte SP für den TM polarisierten Strahl der grünen Wellenlänge der Designwinkel auf, der den Strahl mittig auf dem beispielsweise cos-förmig verlaufenden Apodisationsprofil (nicht gezeigt) zu liegen kommen lässt, so tritt für den blauen Strahl beispielsweise ein größerer
35 und für den roten Strahl ein kleinerer Winkel und somit ein zur einen, oder zur anderen Seite des Apodisationsprofils verschobener Strahlversatz auf.

Das Problem bei einer zeitsequentiellen Farbdarstellung besteht darin, dass der Apodisationsfilter des einzelnen komplexwertigen Pixels für zwei Farben, d.h. beispielsweise für Rot und Blau, nicht mittig ausgeleuchtet wird.

40 Eine einfache Lösung besteht darin, die Ausdehnung des Apodisationsprofils zu verringern, d.h. beispielsweise von einem Füllfaktor von $FF = 0,8$ auf einen Füllfaktor von $FF = 0,6$ zu gehen. Dies ist gleichbedeutend damit, fast 50

Prozent der transparenten Fläche wegzuschneiden, bzw. 50% der Lichtleistung mittels Absorption zu vernichten. Zudem wird die Unterdrückung dem Viewing Window benachbarter Beugungsordnungen durch eine Reduktion des Füllfaktors in ihrer Effizienz verringert, wenn der Füllfaktor reduziert wird.

5 Eine weitere Lösung besteht im räumlichen Multiplex der verwendeten Farben, d.h. in der räumlich strukturierten Anordnung von Farbfiltern, was für eindimensional kodierte 3D Objekte, also z.B. für HPO-Hologramme (HPO = Horizontal-Parallax-Only), unproblematisch ist. Dies ist ein praktikabler Weg, wenn genügend Pixel zur Verfügung stehen, um in der 3D Rekonstruktion die Auflösungsgrenze des Auges deutlich zu unterschreiten. Dies ist in Fig. 15 gezeigt, nämlich räumliches Multiplex von zu komplexwertigen Pixeln zusammengeführten Phasenpixeln. Die erste linke Spalte S1R weist z.B. einen Rotfilter auf. Die Spalte S2B rechts davon (neben der absorbierenden schwarzen Spalte SB) weist einen Blaufilter auf. Die nächste Spalte S3G rechts davon (neben der absorbierenden schwarzen Spalte) weist einen Grünfilter auf. Dies wiederholt sich periodisch fortgesetzt.

15 Eine weitere Lösung besteht darin, anstelle eines „neutral density apodisation profiles“, das heißt des als Grauwertverteilung vorliegenden Intensitäts- bzw. Transmissionsfilterprofils, eine farbselektive Apodisationsfilterverteilung zu verwenden. Dies ist in Fig. 16 dargestellt, nämlich einen Übergang von einer Grauwert bzw. „neutral density“ Apodisationsfunktion (links mit dem Filter APF gezeigt) zu einer lateral versetzten farbselektiven Apodisationsfunktion (rechts mit dem Filter APFC gezeigt). Analog zum Schichtaufbau von Farbdiafilmen kann eine farbselektive Filterung beispielsweise in hintereinander geschalteten Schichten APFSR für Rot, APFSG für Grün und APFSB für Blau erfolgen. Zur Lösung des dargestellten Problems sind die Orte maximaler Transmission von der jeweiligen Spektralfarbe abhängig. Der Füllfaktor kann jedoch für alle Farben gleich groß gewählt werden. Zudem können farbselektive Modifikationen der Apodisationsfunktion vorgenommen werden, um beispielsweise die Energieeffizienz, oder die Unterdrückung der dem VW benachbarter Beugungsordnungen spektral zu optimieren.

25 Der rechts in Fig. 16 dargestellt spektral unterschiedliche laterale Versatz des Schwerpunktes der Intensitätsverteilung ist in der holographischen Rekonstruktion mit einer holographischen Direktsichteinrichtung nicht wahrnehmbar, da er beispielsweise weniger als 10 µm beträgt.

Noch eine weitere Lösung besteht in der Verwendung von zumindest zwei unterschiedlichen doppelbrechenden Materialien SP1, SP2 mit unterschiedlicher, d.h. mit normaler und mit anomaler Dispersion. Das heißt, dass die Savart-Platte aus zwei Schichten SP1, SP2 aufgebaut ist, wobei die erste Schicht SP1 beispielsweise den höchsten Brechungsindex für die blaue Spektrallinie, den niedrigsten Brechungsindex für die rote Spektrallinie und die zweite Schicht SP2 den niedrigsten Brechungsindex für die blaue Spektrallinie, den höchsten Brechungsindex für die rote Spektrallinie aufweist.

35 Das Verhältnis der Dicken der beiden Platten SP1, SP2 ist proportional zum Verhältnis der Brechungsindexunterschiede zur grünen Spektrallinie. Die Auslegung der Dicken kann derart erfolgen, dass das Quadrat der lateralen Lageabweichungen über alle verwendeten Spektralfarben minimiert wird. Die chromatisch korrigierte Savart-Platte, die aus den beiden Platten SP1, SP2 zusammengesetzt ist, ist in Fig. 17 dargestellt.

40 Gemäß der oben beschriebenen Ausführungsform weist also das Lichtwellenmultiplexmittel mindestens ein Polarisationsmittel und mindestens ein doppelbrechendes Medium SP vorgegebener optischer Eigenschaft auf. Mit dem Polarisationsmittel ist dem eine erste Modulatorzelle P01 passierenden Licht eine vorgebbare erste Polarisation aufprägbare. Mit dem Polarisationsmittel ist dem eine zweite Modulatorzelle P02 passierenden Licht eine vorgebbare zweite Polarisation aufprägbare. In Lichtausbreitungsrichtung ist das doppelbrechende Medium SP dem Polarisationsmittel und/oder der ersten und zweiten Modulatorzelle P01, P02 nachgeordnet. Die vorgebbare erste Polarisation könnte senkrecht zur vorgebbaren zweiten Polarisation sein.

Die optische Eigenschaft des doppelbrechenden Mediums SP ist derart ausgestaltet, dass das doppelbrechende Medium SP das die erste Modulatorzelle P01 passierende Licht im Wesentlichen nicht ablenkt und dass das doppelbrechende Medium SP das die zweite Modulatorzelle P02 passierende Licht an der eingangsseitigen Grenzfläche um einen vorgebbaren ersten Winkel ablenkt. An der zur eingangsseitigen Grenzfläche planparallelen ausgangsseitigen Grenzfläche des doppelbrechenden Mediums SP wird das die zweite Modulatorzelle P02 passierende Licht um einen vorgebbaren zweiten Winkel abgelenkt. Der erste Winkel könnte dem Betrag nach im Wesentlichen gleichen dem Betrag des zweiten Winkels sein. Das die zweite Modulatorzelle P02 passierende Licht tritt also nach Durchlaufen des doppelbrechenden Mediums SP im Wesentlichen parallel versetzt aus dem doppelbrechenden Medium SP aus.

In den Fig. 6 bis 11, 12 bis 14, 17, 20 und 21 sind die optischen Eigenschaften der Ablenkungsschichten Vg1, Vg2, Vg3, Vg4, Pg1, Pg2 sowie ggf. vorgesehener Verzögerungsplatten und/oder die optischen Eigenschaften der doppelbrechenden Medien SP, SP1, SP2, SP3, SV1, SV2 derart gewählt, dass eventuelle Strahlablenkungen jeweils in einer Richtung erfolgen, welche im Wesentlichen in der Zeichenebene der jeweiligen Figur liegt. Es sind jedoch noch andere Konfigurationen der optischen Eigenschaften der beteiligten Komponenten denkbar, bei welchen eventuelle Strahlablenkungen jeweils in einer Richtung erfolgen, welche auch aus der Zeichenebene der jeweiligen Figur heraus orientiert sind. Insoweit verlässt dann ein modulierter Lichtwellenmultiplex eines Modulationselements das Lichtwellenmultiplexmittel nicht lediglich bezüglich einer Richtung (z.B. entlang einer Spalte der Modulatorzellen) lateral versetzt, sondern bezüglich einer ersten und einer zweiten Richtung lateral versetzt.

In Lichtausbreitungsrichtung könnte dem doppelbrechenden Medium SP1 mit einer normalen oder anormalen Dispersion ein weiteres doppelbrechendes Medium SP2 mit einer anormalen oder normalen Dispersion, d.h. einer entsprechend entgegengesetzten Dispersion, nachgeordnet sein. Dies ist in Fig. 17 gezeigt. Das Verhältnis der Dicken der zwei doppelbrechenden Medien SP1, SP2 ist dann vorgebbbar und hängt vorzugsweise von dem Verhältnis der Brechungsindexunterschiede der zwei doppelbrechenden Medien SP1, SP2 von einer vorgebbaren Wellenlänge des Lichts, beispielsweise grün, zu mindestens einer weiteren vorgebbaren Wellenlänge des Lichts ab, beispielsweise rot und blau.

Auch bei dem Einsatz von mindestens einem doppelbrechenden Medium ist eine Strahlvereinigung in einer zur Fig. 8 vergleichbaren Weise möglich. Dies ist in Fig. 21 gezeigt. Hierzu kann in Lichtausbreitungsrichtung dem doppelbrechenden Medium SP1 ein weiteres doppelbrechendes Medium SP3 nachgeordnet sein. Die optische Eigenschaft des weiteren doppelbrechenden Mediums SP3 ist derart ausgestaltet, dass das weitere doppelbrechende Medium SP3 das die erste Modulatorzelle P01 passierende Licht an einer eingangsseitigen Grenzfläche des weiteren doppelbrechenden Mediums SP3 um einen vorgebbaren dritten Winkel ablenkt und an einer zur eingangsseitigen Grenzfläche planparallelen ausgangsseitigen Grenzfläche des weiteren doppelbrechenden Mediums SP3 um einen vorgebbaren vierten Winkel ablenkt. Das weitere doppelbrechende Medium SP3 lenkt das die zweite Modulatorzelle P02 passierende Licht im Wesentlichen nicht ab. Der Betrag des dritten vorgebbaren Winkels könnte im Wesentlichen gleich dem Betrag des vierten vorgebbaren Winkels sein. Somit sind die in das erste doppelbrechende Medium SP1 eintretenden Lichtstrahlen im Wesentlichen parallel versetzt zu den aus dem zweiten doppelbrechenden Medium SP3 austretenden Lichtstrahlen. Zwischen den beiden doppelbrechenden Medien SP1 und SP3 ist eine $\lambda/2$ -Schicht angeordnet, welche die Polarisationsrichtung des diese Schicht durchlaufenden Lichts um 90 Grad dreht. Die optischen Achse (angedeutet durch die Doppelpfeile) von SP1 und SP3 sind senkrecht zueinander orientiert.

In Lichtausbreitungsrichtung könnte dem doppelbrechenden Medium SP; SP1, SP2 ein als Analysator wirkendes Polarisationsmittel WGP vorgebbbarer optischer Eigenschaft nachgeordnet sein.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigen jeweils in einer schematischen Darstellung in

Fig. 1 einen Detailschnitt aus einer räumlichen Lichtmodulationseinrichtung eines erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels,

Fig. 2 eine erste Ausführungsform der optischen Multiplexmittel zum räumlichen Multiplexen von ausgehenden, modulierten Lichtwellenteilen mit einem Mikroprismenfeld und einem Volumengitter,

Fig. 3 eine zweite Ausführungsform der optischen Multiplexmittel zum räumlichen Multiplexen von ausgehenden, modulierten Lichtwellenteilen mit einem Mikroprismenfeld und einem Volumengitter, bei der gebeugtes Licht genutzt wird,

Fig. 4 eine dritte Ausführungsform der optischen Multiplexmittel zum räumlichen Multiplexen von ausgehenden, modulierten Lichtwellenteilen, bei der gebeugtes Licht genutzt wird und das ungebeugte Licht mit einem Raumfrequenzfilter mit einer Lochblende ausgefiltert wird,

Fig. 5 eine vierte Ausführungsform der optischen Multiplexmittel zum räumlichen Multiplexen von ausgehenden, modulierten Lichtwellenteilen mit einem polarisierenden Lichtwellenteiler,

Fig. 6 bis 8 jeweils eine optische Multiplexausführung mit einem polarisierenden Strahlenteiler, der bezüglich Änderungen von Lichtwellenlängen kompensiert ist,

Fig. 9 die Funktionsweise eines Polarisationsgitters nach dem Stand der Technik nach [2],

Fig. 10 den Strahlverlauf in einem Volumengitter (unsymmetrisch),

Fig. 11 den Strahlverlauf in einer Anordnung mit Polarisationsgittern (symmetrisch),

Fig. 12 ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 13 und 14 jeweils ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 15 räumliches Multiplex von zu komplexwertigen Pixeln zusammengeführten Phasenpixeln,

Fig. 16 links eine „neutral density“ Apodisationsfunktion und rechts eine lateral versetzte farbselektive Apodisationsfunktion und

Fig. 17 bis 22 jeweils ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Da die optischen Multiplexmittel für jede Modulationszelle des Modulationsfeldes gleich strukturiert sind, beschränken sich im Interesse einer einfachen Darstellung der Erfindung alle folgenden Figuren auf die Darstellungen von nur einer einzigen Modulationszelle des Modulationsfeldes.

Aus dem gleichen Grund werden im Folgenden die optischen Multiplexmittel am Beispiel eines Modulationsfeldes mit regulär strukturierten Modulatorzellen beschrieben, bei der jedes Modulationselement zwei im Modulationsfeld benachbarte Modulatorzellen enthält. Ein typischer Vertreter derartiger räumliche Lichtmodulationseinrichtung ist ein

räumlicher Phasenmodulator für die oben genannte Zwei-Phasenkodierung. Im Allgemeinen ist aber eine Strukturierung auch für ein Modulationselement mit mehr als zwei Modulationszellen durchführbar.

Die folgenden Ausführungsbeispiele könnten in vergleichbarer Ausführung auch für eine Amplitudenmodulation verwendet werden. Als zusätzliches Element würde dort noch eine phasenverzögernde optische Schicht für
5 mindestens je eine Modulatorzelle benötigt. Bei einer Bias-Codierung wird eine feste Phasenverzögerung von $\pi/2$ bei einer der beiden Modulatorzellen benötigt, bei einer Burckhardt-Kodierung Verzögerungen von $2\pi/3$ und $4\pi/3$ bei zwei der drei Modulatorzellen.

Fig. 1 zeigt ein Modulationselement ME mit einer ersten Modulatorzelle P01 und einer zweiten Modulatorzelle P02, welche benachbart in einem Modulationsfeld angeordnet sind. Ein interferenzfähiges Lichtfeld LW beleuchtet das
10 Modulationselement ME im Modulationsfeld. Eine Modulatorsteuereinheit CU kodiert jede Modulatorzelle P01, P02 mit einer Phasenkomponente eines komplexen Hologrammwertes, so dass jede Modulatorzelle P01, P02 einen separat modulierten Lichtwellenteil LWP_1 oder LWP_2 mit parallelen optischen Achsen a_{01} oder a_{02} zum holographischen Rekonstruieren in eine Richtung D sendet. Möglichst nahe zu den Modulatorzellen P01, P02 liegt gemäß der Erfindung ein Feld M mit optischen Multiplexmitteln. Die optischen Multiplexmittel enthalten eine Struktur
15 von Wellenumlenkelementen U1, U2, die räumlich den Modulatorzellen P01, P02 zugeordnet sind. Die Wellenumlenkelemente U1, U2 weisen jeweils eine optische Achse auf, die von einander abweichen und die zueinander so gerichtet sind, dass sich die Lichtwellenteile LWP_1 und LWP_2 , welche dem selben Modulationselement zugeordnet sind, im Feld M mit den optischen Multiplexmitteln zu einem Wellenmultiplex eines modulierten, gemeinsamen Lichtwellenteils LWP_0 mit einer gemeinsamen optischen Achse a_0 treffen.

20 In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung enthält das Feld M mit den optischen Multiplexmitteln eine optische Platteneinheit aus gestapelten, optischen Platten. Die optischen Platten könnten beispielsweise mehrere transparente Polymerschichten einer vorgebbaren optischen Eigenschaft – insbesondere doppelbrechend – aufweisen.

Fig. 2 zeigt eine erste Ausführungsform einer solchen optischen Platteneinheit, welche ein Mikroprismenfeld PA
25 enthält, welches für die Modulatorzellen P01 und P02 eines jedes Modulationselementes ME ein Mikroprisma bereitstellt, das für die Modulatorzelle P01 und P02 jeweils eine entsprechende optische Wellenumlenkfunktion realisiert. Auch diese optische Platteneinheit führt die Lichtwellenteile LWP_1 und LWP_2 der Modulationselemente zu einem Wellenmultiplex eines modulierten, gemeinsamen Lichtwellenteils LWP_0 zusammen. Das wird dadurch erreicht, dass im Lichtweg der optischen Platteneinheit außerdem ein Volumenhologramm BG, auch Bragg-
30 Hologramm genannt, angeordnet ist. Dieses Volumenhologramm BG hat die Aufgabe, ein sich Kreuzen der propagierenden Lichtwellenteile LWP_1 und LWP_2 zu verhindern und beide Lichtwellenteile LWP_1 und LWP_2 , welche die Modulatorzellen P01, P02 eines Modulationselementes modulieren, ohne Lichtwegdifferenzen in Richtung D zu richten. Das Volumenhologramm BG ist so kodiert bzw. beschrieben, dass es Lichtwellen mit definierten Wellenlängen eng auf einen stark begrenzten Ablenkwinkel bzw. Austrittswinkel ausrichtet. Als definierte
35 Wellenlängen sind alle Lichtwellenlängen zu berücksichtigen, die zum farbigen Rekonstruieren benötigt werden, beispielsweise die Farben Rot, Grün und Blau.

Fig. 3 zeigt eine zweite Ausführungsform der optischen Platteneinheit gemäß Fig. 2. Beide Ausführungsformen unterscheiden sich in der Zuführung bzw. bezüglich des Einfallswinkels des interferenzfähigen Lichtwellenfeldes LW.
40 In der Ausführung gemäß Fig. 3 trifft das interferenzfähige Lichtwellenfeld schräg zur optischen Achse auf die räumliche Lichtmodulationseinrichtung bzw. die Modulatorzellen P01, P02, so dass – bezüglich des schrägen Einfalls – die erste Beugungsordnung zum Rekonstruieren nutzbar ist. In der Ausführung gemäß Fig. 2 trifft das interferenzfähige Lichtwellenfeld parallel zur optischen Achse auf die räumliche Lichtmodulationseinrichtung, so dass die 0. Beugungsordnung zum Rekonstruieren nutzbar ist.

Wie Fig. 4 zeigt, ermöglicht ein zusätzliches Teleskopfilterfeld TFA mit einer Lochrasterblende AP zwischen zwei afokalen Linsensfeldsystemen L1, L2 ein Unterdrücken unerwünschter Lichtanteile, z.B. der bezüglich der Einfallrichtung des Lichtwellenfelds 0. Beugungsordnung bzw. von ungenutzten Periodizitätsintervallen in benachbarten räumlichen Beugungsordnungen. Gleichzeitig ermöglichen die afokalen Linsensfeldsysteme L1, L2 in Folge einer optischen Vergrößerung ein Erhöhen des Füllfaktors zwischen den Modulationszellen des Modulationselements ME im Modulationsfeld.

Fig. 5 zeigt eine andere Ausführungsform der Erfindung, bei der ein polarisierender Lichtwellenteiler Pol die Lichtwellenteile eines jeden Modulationselementes zusammenführt. Die optischen Multiplexmittel zum räumlichen Multiplexen nutzen eine Kombination aus einer Platte mit Polarisations-elementen S-pol und P-pol, die jedem Lichtwellenteil einer Modulatorzelle P01, P02 im Modulationselement eine eigene Lichtpolarisation geben und eine doppelbrechende Planplatte BP die alle modulierte Lichtwellenteile LWP1, LWP2 eines Modulationselementes eine eigene geneigte optische Achse gibt. Die optischen Achsen für alle Lichtwellenteile sind zueinander geneigt und die Stärke der Planplatte BP ist so bemessen, dass alle Lichtwellenteile an der Austrittsfläche sich überlagern.

Ein polarisierender Lichtwellenteiler, wie in Fig. 6 gezeigt, ist empfindlich gegenüber Änderungen der für die holographische Rekonstruktion gewählten Wellenlänge. Hierbei ergibt sich ein von der Wellenlänge des verwendeten Lichts abhängiger lateraler Versatz und eine Änderung der Phasenbeziehung des Lichts.

Die Fig. 6 und 7 zeigen die Grundlage an Hand jeweils eines Ausführungsbeispiels, wie eine selbstkompensierende Strahlenteilerdoppelplatte gemäß Fig. 8 geschaffen werden kann. Mit Vg1 bzw. Vg2 sind jeweils in Form von Volumengittern ausgebildete Strahlenteiler gekennzeichnet.

Damit sich der Lichtwellenteil TE der Modulatorzelle 1 und der Lichtwellenteil TM der Modulatorzelle 2, die jeweils die Breite a aufweisen, hinter dem planaren polarisierenden Strahlenteiler Vg2 vollständig überlappen, muss der Abstand d der beiden parallelen Gitterebenen $d = a / (2 \cos(\pi/6))$, d.h. $0,57735 \mu\text{m}$ je μm Modulatorzellenbreite betragen.

Bei $50 \mu\text{m}$ breiten Modulatorzellen ergibt sich für die $0^\circ/60^\circ$ polarisierender Strahlenteiler Geometrie eine Dicke von $d = 28,87 \mu\text{m}$, wobei sich verglichen hierzu für eine Savart-Platte bei einem z.B. zu erreichenden $\Delta n = 0,2$ nur eine minimale Dicke von $d = 385,8 \mu\text{m}$ erreichen lässt.

Die Pointingvektoren der polarisierten Lichtwellenteile TE und TM sind hinter dem polarisierenden Strahlenteiler parallel, wenn sie es vor dem polarisierenden Strahlenteiler auch waren. Die Parallelität der austretenden Strahlen ist hier somit kein Problem.

Wellenlängenschwankungen des Lichts stellen jedoch ein Problem dar. Bei $30 \mu\text{m}$ Modulatorzellenbreite und $17,32 \mu\text{m}$ polarisierender Strahlenteiler-Doppelplattendicke ergibt eine Schwankung der Wellenlänge von $\Delta\lambda = 1 \text{ nm}$ eine Änderung der relativen Phase zwischen den zwei überlagerten Modulatorzellen von ca. $2\pi/10$. Um dieses Problem zu lösen, gibt es die Möglichkeit, eine polarisierende Strahlenteiler-Geometrie mit geringerem Beugungswinkel zu wählen.

Eine mögliche polarisierende Strahlenteiler Ablenkgeometrie (mit polarisierenden Strahlenteilern Vg1, Vg2) ist $0^\circ / 48,2^\circ$, wie sie in Fig. 6 dargestellt ist. Hier wird der Lichtwellenteil TE abgelenkt und der Lichtwellenteil TM wird nicht abgelenkt. Fig. 7 zeigt einen $0^\circ / 41,2^\circ$ polarisierenden Strahlenteiler (Vg1, Vg2), der TE polarisiertes Licht ungebeugt lässt, TM polarisiertes Licht jedoch beugt bzw. ablenkt.

Bei $a = 50 \mu\text{m}$ Modulatorzellenbreite und bezüglich des Übersprechens zwischen benachbarten Modulatorzellen maximal zulässiger Distanz zu einer (nicht gezeigten) EW-Prismen-Ebene von $D_{\text{max}} = 5 \times a = 250 \mu\text{m}$ ergibt sich $\theta_{\text{min}} = \arctan(a/D_{\text{max}}) = \arctan(0,2) = 11,31^\circ \text{ deg}$. Die Savart-Platte erreicht bei $\Delta n = 0,2$ ca. $7,4^\circ \text{ deg}$.

Da es sich bei möglichen Gitter-polarisierenden Strahlenteiler-Geometrien um eine Reihe handelt, sind auch nutzbare Winkel im Bereich von 11° deg vorhanden. Die notwendige Brechungsindexvariation ist dabei jedoch zu hoch, d.h. die Nutzung von 11° deg als polarisierender Strahlenteiler-Geometrie ist unwahrscheinlich.

5 Wahrscheinlich ist jedoch eine polarisierende Strahlenteiler-Geometrie von $0^\circ/33,557^\circ$ praktisch umzusetzen, wobei eine Reserve der Brechungsindexvariation für das RGB-Multiplexing vorhanden sein muss. Diese Geometrie würde bei einer Stabilität der Wellenlänge von $\Delta\lambda = 1$ nm noch eine Verschiebung der relativen Phase der zusammengeführten Modulatorzellen von $\Delta\varphi_{\text{rel}} < 2\pi/20$ ermöglichen.

Um den Einfluss einer beispielsweise driftenden Schwerpunkswellenlänge zu kompensieren, gibt es mehrere Möglichkeiten.

10 Eine Möglichkeit ist es, das entstehende Summensignal der beiden zusammengeführten Modulatorzellen zu verwenden, um einfach im Betrieb die Phasenverschiebung zu kompensieren. Dabei kann beispielsweise einfach die Phase einer Modulatorzelle derart geschoben werden, dass im Resultat ein bestimmter Sollwert der Intensität erreicht wird. Somit erhält man einen Wert der einzuführenden Korrekturphase.

15 Es kann auch ein Satz von Phasenverschiebungen eingeführt werden, d.h. mindestens drei, um mittels Phasenverschiebender Interferometrie, die relative Phase der zusammengeführten Modulatorzelle mit einer Genauigkeit $< 2\pi/512$ zu bestimmen.

Bei Displays, die nur wenige Lichtquellen aufweisen bietet es sich jedoch an, einfach je Wellenlänge und Lichtquelle zwei Dioden zu verwenden, die spektral unterschiedliche Kennlinien aufweisen. Aus den Signalen der Dioden lässt sich somit bei Kenntnis der Kennlinien die Wellenlänge auf $< 0,1$ nm bestimmen. Dieses Prinzip wird beispielsweise in dem Wellenlängenmessgerät WaveMate™ der Firma Coherent angewandt.

Bei Kenntnis der Schwerpunkswellenlänge kann im Falle einer Drift dieser direkt eine Korrektur der einzustellenden relativen Phase zusammengeführter Modulatorzelle erfolgen. Dies sollte einen Restfehler in der Einstellung der relativen Phase zusammengeführter Modulatorzelle von $< 2\pi/256$ ermöglichen.

25 Die oben genannten online Korrekturansätze können miteinander kombiniert werden, um die Messgenauigkeit zu erhöhen und somit den Einfluss einer Drift der Wellenlänge zu kompensieren. Unabhängig davon kann ein Laser auch auf $\Delta\lambda < 0,1$ nm stabilisiert werden.

30 FIG. 8 zeigt in einem Ausführungsbeispiel einen kompensierten polarisierenden Strahlenteiler. Hier wird mit den ersten beiden Strahlenteilern Vg1 und Vg2 – vergleichbar zu der Anordnung gemäß Fig. 7 – das TM polarisierte Licht gebeugt und das TE polarisierte Licht nicht. Mit den beiden Strahlenteilern Vg3 und Vg4 wird – vergleichbar zu Fig. 6 – das TE polarisierte Licht gebeugt und das TM polarisierte Licht nicht. Der Abstand zwischen den einzelnen Strahlenteilern Vg1 bis Vg4 kann hierbei kleiner als bei den Ausführungsbeispielen gemäß den Fig. 6 und 7 sein, da für das TE bzw. TM polarisierte Licht jeweils nur die Hälfte des Strahlenversatzes zu generieren ist.

35 FIG. 8 zeigt außerdem, wie eine Kompensation einer Drift der Lichtwellenlänge erreicht werden kann. Die Kompensation von $\Delta\varphi_{\text{rel}}(\Delta\lambda)$ beruht auf der gleichmäßigen Verteilung des Einflusses auf die zusammengeführten Modulatorzellen. Da die notwendigen Verzögerungsschichten (einmal strukturiert und einmal flächig, unstrukturiert) nur ca. $1,5 \mu\text{m}$ dick sind, ergibt sich auch bei nicht zu vernachlässigenden Dicken der Volumengitter Vg1, Vg2, Vg3 und Vg4 (je $10 \mu\text{m}$ dick), die in vier Ebenen angeordnet sind, ein resultierender Abstand zwischen SLM und Polarisator WGP von $DD < 2a$ (gilt für a rund $50 \mu\text{m}$). Bei $a = 70 \mu\text{m}$ ist die resultierende Dicke $DD < a$. Bei $a = 20 \mu\text{m}$ liegt DD bei $< 3a$, was es somit auch für kleine Modulatorzelle noch ermöglicht, Polarisatoren einzusetzen, die
40 keine Wire Grid Polarizer sind.

In Fig. 6 ist zwischen der Modulatorzelle 2 und dem Volumengitter Vg1 eine $\lambda/2$ -Platte eingezeichnet. Eine $\lambda/2$ -Platte vorzusehen wäre dann erforderlich, wenn das auf die Modulatorzellen 1, 2 einfallende Licht lediglich eine vorgebbare Polarisation, beispielsweise eine lineare TE-Polarisation, aufweist. In diesem Fall wird das die Modulatorzelle 2 passierende Licht von der $\lambda/2$ -Platte in seiner Polarisation um 90 Grad gedreht, so dass das die Modulatorzelle 1 durchlaufende Licht senkrecht zu dem die Modulatorzelle 2 durchlaufenden Licht polarisiert ist. Falls das auf die Modulatorzellen 1, 2 einfallende Licht bereits entsprechend senkrecht zueinander polarisiert ist, ist das Vorsehen einer $\lambda/2$ -Platte zwischen der Modulatorzelle 2 und dem Volumengitter Vg1 nicht erforderlich. Mit anderen Worten kommt es also darauf an, dass das die Modulatorzelle 1 durchlaufende Licht unterschiedlich – z.B. senkrecht – zu dem die Modulatorzelle 2 durchlaufenden Licht polarisiert ist, so dass das Licht, welches die eine Modulatorzelle durchläuft, von dem Volumengitter Vg1 abgelenkt wird und das Licht, welches die anderen Modulatorzelle durchläuft, von dem Volumengitter Vg1 nicht abgelenkt wird. Diese Ausführungen treffen für die Fig. 7, 8, 13, 14 und 17 in vergleichbarer Weise zu.

Die Winkelgeometrie muss nicht auf $< 0,05^\circ$ getroffen werden. Ein Fehler von $0,1^\circ$ ist unkritisch. Bei $D < a$ sind auch Winkelfehler von $0,3^\circ$ unkritisch, d.h. auch wenn eine Messung notwendig ist, um die resultierenden Effekte zu kompensieren. Dies beruht darauf, dass der Anteil nicht gebeugten Lichtes bei $D < a$ in der Ebene des Apodisationsfilters APF geblockt wird.

Notwendig bzw. empfehlenswert ist es jedoch, das Teilsandwich, welches aus zwei Volumengittern gleicher Geometrie besteht, als solches aufzunehmen. Ein seitlicher Versatz der zu überlagernden Wellenfronten ist unproblematisch, da der Füllfaktor des Apodisationsfilters APF kleiner als der Füllfaktor des Phasen-SLM ist, d.h. $FF_{APO} < FF_{SLM}$. Die leuchtende Fläche ist somit in den Abmessungen konstant, hinreichend homogen ausgeleuchtet und enthält nur gemeinsam überlagerte Wellenfrontanteile, d.h. auch ein Lateralversatz von 5% wäre unproblematisch. Mit anderen Worten ist ein vorliegender lateraler Versatz der Lichtwellenteile, die das Modulationselement (ME) verlassen, mit einer dem Modulationselement (ME) nachgeordneten Filter oder Blende, beispielsweise ein Apodisationsfilter APF einer vorgebbaren Transmissionscharakteristik oder eine Aperturblende einer vorgebbaren Blendengeometrie, kompensierbar. Dies ist auch für die Ausführungsbeispiele gemäß den Fig. 5 bis 7 anwendbar.

Refraktive Strahlzusammenführung mit Linsen oder Prismen

Im Folgenden wird eine weitere Möglichkeit der refraktiven Strahlzusammenführung beschrieben, welche auf der Verwendung von Linsen und/oder Prismen bzw. von Lentikularen und/oder von Prismen-Arrays beruht.

Fig. 18 zeigt in einem Ausführungsbeispiel in Aufsicht einen Ausschnitt aus einem optischen System 100, das ein Lentikular L und ein Prismen-Array P enthält. Einer Linse 102 des Lentikulars L und einem Prisma 104 des Prismen-Arrays P sind jeweils zwei Pixeln des SLM zugeordnet (in Fig. 18 nicht gezeigt). Gezeigt sind die Strahlen 106, 108 aus zwei einander zugeordneten Pixeln, eine Linse 102 des Lentikulars L und ein Prisma 104 des Prismen-Arrays P. Der Pixel-Pitch ist p , der Durchmesser eines Strahls 106, 108 vor der Linse 102 ist a und der Abstand zwischen Lentikular L und Prismen-Array P ist d .

Die Linse 102 fokussiert das Licht jedes Strahls 106, 108 und führt die beiden Strahlen 106, 108 zusammen. Der Abstand d ist etwas geringer als die Brennweite der Linse 102, so dass die fokussierten Strahlen 110, 112 in der Ebene des Prismen-Arrays P noch einen kleinen Abstand D haben. Die beiden Strahlen 110, 112 treffen auf verschiedene Seiten eines Prismas 104 auf. Der Prismenwinkel ist so gewählt, dass die Strahlen 114 nach dem Prisma im Wesentlichen in der gleichen Richtung verlaufen. Eingezeichnet sind der doppelte Divergenzwinkel 2θ und die doppelte Strahltaile $2w$.

Diese Anordnung führt die beiden Strahlen 106, 108 nicht exakt zusammen, sondern es bleibt ein kleiner restlicher Abstand D. Dieser ist jedoch viel geringer als der ursprüngliche Abstand, der gleich dem Pixel-Pitch p ist. Somit ist auch die Wegdifferenz des Lichts zum Rand einer Beugungsordnung viel geringer und die Rekonstruktionsqualität daher besser.

- 5 Hier ist ein Zahlenbeispiel unter der vereinfachenden Annahme, dass der Abstand d zwischen Lentikular L und Prismen-Array P gleich der Brennweite f ist, d.h. $d = f$. Ebenso werden die Strahlen als Gauß-Strahlen angenommen. Der Pixel-Pitch ist $p = 50 \mu\text{m}$. Der Abstand der Strahlen soll von $p = 50 \mu\text{m}$ auf $D = p/10 = 5 \mu\text{m}$ verringert werden. Die Strahltaile ist so gewählt, dass $D = 2 w$.

Es gelten folgende Beziehungen:

- 10 $\Theta * w = \lambda / \pi$ (Strahl-Parameter-Produkt eines Gauß-Strahls = Beziehung zwischen Divergenz und Strahltaile eines Gauß-Strahls)

$$a = 2 \Theta * f$$

$$D = 2 w$$

- 15 Wenn mit Hilfe dieser Anordnung der Abstand p der Strahlen von $50 \mu\text{m}$ auf $5 \mu\text{m}$ verringert wird, ergibt sich für eine Wellenlänge von 500 nm eine Brennweite von $f = 0,31 \text{ mm}$. Der Radius der Linsen wäre somit ca. $0,15 \text{ mm}$ bei einem Linsen-Pitch von $0,1 \text{ mm}$.

Lentikulare L und Prismen-Arrays P sind Optikkomponenten, die sich in großer Größe herstellen und ausrichten lassen. Mit ihnen lässt sich der Abstand der beiden Strahlen 106, 108 wesentlich verringern und somit die Rekonstruktionsqualität erhöhen.

- 20 Fig. 19 zeigt als ein weiteres Ausführungsbeispiel in Aufsicht einen Ausschnitt aus einem optischen System 100, das zwei Prismen-Arrays P1 und P2 sowie ein Abstandsglas G mit Dicke d enthält. Gezeigt sind zwei Strahlen 106, 108 von einander zugeordneten SLM-Pixeln (nicht gezeigt), die nach einer nicht gezeigten strukturierten Verzögerungsplatte zueinander senkrechte Polarisation haben.

- 25 Das erste Prismen-Array P1 ist aus isotropem Material hergestellt. Das zweite Prismen-Array P2 dagegen ist aus doppelbrechendem Material hergestellt. Eine Polarisationsrichtung wird als ordentlicher Strahl 108, 112 unabgelenkt durchgelassen, während die senkrechte Polarisationsrichtung als außerordentlicher Strahl 106, 110 abgelenkt wird. Dies ist ähnlich zu den doppelbrechenden Lentikularen, die die Firma Ocuity für schaltbare 2D/3D-Displays verwendet. Der ordentliche Brechungsindex ist gleich dem Brechungsindex des umgebenden Materials gewählt. Der außerordentliche Brechungsindex ist dagegen verschieden gewählt, so dass der außerordentliche Strahl abgelenkt wird.

- 35 Der untere Strahl 108 durchläuft das Prismen-Array P1 unabgelenkt, da es auf die ebene Grenzfläche trifft. Er wird nach dem Eintritt in das Abstandsglas G mit dem Bezugszeichen 112 gekennzeichnet und wird auch im Prismen-Array P2 nicht abgelenkt, da seine Polarisationsrichtung so ist, dass er der ordentliche Strahl ist. Der obere Strahl 106 wird im Prismen-Array P1 und im Prismen-Array P2 abgelenkt, da er der außerordentliche Strahl ist. So werden beide Strahlen 106,108 zusammengeführt und verlassen das optische System als ein überlagerter Lichtstrahl 114 in der gleichen Richtung.

Hier ist ein Zahlenbeispiel für einen Pixel-Pitch $p = 50 \mu\text{m}$. Die Dicke d des Glases G soll $d = 500 \mu\text{m}$ sein. Hierfür muss der obere Strahl 106 in jedem Prismen-Array P1 um $\delta = 5,7^\circ$ abgelenkt werden. Für kleine Winkel gilt

$$\delta = (n_1 / n_2 - 1) * \alpha$$

Hierbei ist α der Prismenwinkel und n_1 und n_2 sind die Brechungsindices des Prismas P1 und des umgebenden Materials des Glases G. Typische Werte sind $n_1 = 1,65$ und $n_2 = 1,5$, d.h. ein Brechungsindexunterschied von 0,15. Hiermit ergibt sich ein Prismenwinkel $\alpha = 57^\circ$.

5 Die Firma Ocuity stellt doppelbrechende Lentikulare für eine andere als die hier beschriebene Anwendung bereits in Größen von mehreren Zoll her. Somit lässt sich ein Sandwich aus erhältlichem Prismen-Array, Abstandsglas und doppelbrechendem Prismen-Array in großer Größe herstellen und damit eine Strahlzusammenführung erreichen.

Somit könnte das Lichtwellenmultiplexmittel ein Linsenmittel und ein Prismenmittel aufweisen (Fig. 18). Mit dem Linsenmittel ist das eine erste Modulatorzelle passierende Licht 106 in einen ersten Bereich in einer in Lichtausbreitungsrichtung dem Linsenmittel nachgeordneten Ebene fokussierbar. Mit dem Linsenmittel ist das eine
10 zweite Modulatorzelle passierende Licht 108 in einen zweiten Bereich in die Ebene fokussierbar. Das Prismenmittel ist an der Ebene angeordnet. Das Prismenmittel ist derart ausgebildet, dass mit dem Prismenmittel das Licht des ersten Bereichs in eine erste vorgebbare Richtung und das Licht des zweiten Bereichs in eine zweite vorgebbare Richtung ablenkbar ist. Die erste und die zweite vorgebbare Richtung sind im Wesentlichen identisch. Der erste Bereich ist von dem zweiten Bereich beabstandet. Das Linsenmittel weist ein Lentikular L und das Prismenmittel
15 weist ein Prismen-Array P auf.

Das Lichtwellenmultiplexmittel gemäß Fig. 19 weist ein erstes Prismenmittel und ein zweites Prismenmittel auf. Mit dem ersten Prismenmittel ist das eine erste Modulatorzelle passierende Licht 106 in eine erste Richtung ablenkbar. Das eine zweite Modulatorzelle passierende Licht 108 wird nicht abgelenkt. In Lichtausbreitungsrichtung ist dem
20 ersten Prismenmittel das zweite Prismenmittel in einem vorgebbaren Abstand d nachgeordnet. Das zweite Prismenmittel ist derart ausgebildet, dass mit dem zweiten Prismenmittel das von dem ersten Prismenmittel abgelenkte Licht 110 in eine vorgebbare Richtung ablenkbar ist. Das nicht abgelenkte Licht 112 wird von dem zweiten Prismenmittel nicht abgelenkt.

Das zweite Prismenmittel weist ein Prismen-Array P2 mit doppelbrechenden Prismenelementen auf. Das die erste Modulatorzelle passierende Licht 106 ist derart polarisiert, dass es von einem doppelbrechenden Prismenelement
25 des zweiten Prismenmittels ablenkbar ist. Das die zweite Modulatorzelle passierende Licht 108 ist derart polarisiert, dass es nicht vom zweiten Prismenmittel abgelenkt wird.

Das erste Prismenmittel weist ein Prismen-Array P1 mit Prismenelementen auf. Die Prismenelemente sind derart angeordnet, dass jeweils nur dem die erste Modulatorzelle passierenden Licht 106 ein Prismenelement und dem die
zweite Modulatorzelle passierenden Licht 108 kein Prismenelement zugeordnet ist.

30 Fig. 20 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Hierbei weist das Lichtwellenmultiplexmittel mindestens zwei doppelbrechende Medien SV1, SV2 auf. In Lichtausbreitungsrichtung ist vor den Modulatorzellen 1, 2 ein doppelbrechendes Mediums SV1 und nach den Modulatorzellen 1, 2 ist ein weiteres doppelbrechendes Mediums SV2 angeordnet. Die doppelbrechenden Medien SV1, SV2 weisen jeweils eine vorgebbare optische Eigenschaft auf. Die optische Eigenschaft des vor den Modulatorzellen 1, 2 angeordneten
35 doppelbrechenden Mediums SV1 ist derart ausgestaltet, dass ein erster Teil des Lichts um einen ersten vorgebbaren Winkel in Richtung der ersten Modulatorzelle 1 abgelenkt wird. In einem oberen Bereich der Fig. 20 ist der Strahlquerschnitt diesen Teils des Lichts gepunktet dargestellt. Darunter sind exemplarisch zwei weitere Strahlquerschnitte eingezeichnet, wobei sich dies über die gesamte Fläche fortgesetzt zu denken ist. Ein anderer Teil des Lichts wird nicht abgelenkt. Der Strahlquerschnitt diesen Teils des Lichts ist mit durchgezogenen Linien
40 dargestellt. Die optische Eigenschaft des nach den Modulatorzellen 1, 2 angeordneten doppelbrechenden Mediums SV2 ist derart ausgestaltet, dass der andere Teil des Lichts um einen zweiten vorgebbaren Winkel abgelenkt wird und der erste Teil des Lichts nicht abgelenkt wird. Unter der optischen Eigenschaft der zwei doppelbrechenden Medien SV1, SV2 ist insbesondere die jeweilige Orientierung der optischen Achse bzw. Hauptachse des

doppelbrechenden Mediums SV1, SV2 zu verstehen. Die optischen Achsen der zwei doppelbrechenden Medien SV1, SV2 sind durch Doppelpfeile angedeutet und sind im Wesentlichen gleich orientiert. Es sind auch Konfigurationen denkbar, bei welchen die Orientierung der optischen Achsen der zwei doppelbrechenden Medien SV1, SV2 nicht in der Zeichenebene der Fig. 20 liegen. Obwohl es grundsätzlich möglich ist, dass das in Richtung
5 des ersten doppelbrechenden Mediums SV1 Licht einen unpolarisierten Zustand aufweist, ist vorzugsweise vorgesehen, dass das auf das erste doppelbrechende Medium SV1 einfallende Licht einen vorgegebenen linearen Polarisationszustand aufweist.

Die zwei doppelbrechenden Medien SV1, SV2 gemäß Fig. 20, jedoch auch die doppelbrechenden Medien SP, SP1, SP2 und SP3 gemäß den Figuren 13, 14, 17 und 21, weisen im Wesentlichen planparallel angeordnete Grenzflächen
10 auf.

Zwischen den zwei doppelbrechenden Medien SV1, SV2 in Fig. 20 ist eine Verzögerungsplatte angeordnet, welche in Form einer $\lambda/2$ -Platte ausgebildet ist. Die Verzögerungsplatte dreht die Polarisationsrichtung des durch die Modulatorzellen 1, 2 hindurchtretenden Lichts um 90 Grad.

In Lichtausbreitungsrichtung ist vor dem ersten doppelbrechenden Medium SV1 eine Blendenanordnung BA
15 vorgesehen, welche derart ausgestaltet ist, dass der nicht abgelenkte Teil des Lichts, der sich in Richtung jeder zweiten Modulatorzelle 1 ausbreiten würde, ausgeblendet wird. Mit anderen Worten weist die Blendenanordnung BA einzelnen Blenden B auf, die im Wesentlichen dieselbe Querschnittsfläche aufweisen, wie die Modulatorzellen 1 bzw. 2. Die Blenden B sind derart positioniert, dass sie jede zweite Modulatorzelle 1 von dem einfallenden Licht abdecken. Hierdurch wird verhindert, dass nicht abgelenktes Licht durch die Modulatorzellen 1 hindurchtritt. In Fig. 20 sind die
20 einzelnen Komponenten insbesondere zur vereinfachten Darstellung separat voneinander gezeigt. Diese können jedoch in Form eines Sandwiches zusammengefasst sein, also miteinander unmittelbar in Kontakt stehen.

Bei der gemäß Fig. 20 beschriebenen Anordnung kann in besonders vorteilhafter Weise der Abstand zwischen den Modulatorzellen 1, 2 und einer dem doppelbrechenden Medium SV2 nachgeordneten weiteren optischen Komponente (beispielsweise eine Ablenk-Prismenzellen-Anordnung oder ein Apodisationsfilter, in Fig. 20 nicht
25 gezeigt) verglichen zu einer Anordnung, wie beispielsweise in Fig. 17 gezeigt, verringert werden. Die in Fig. 20 gezeigte Anordnung ist insbesondere für die Strahlzusammenführung von spektral breitbandigem aber auch bei spektral schmalbandigem Licht vorteilhaft. Durch eine in Fig. 20 gezeigte Anordnung kann eine Symmetrisierung der Strahlaufteilung und Strahlvereinigung realisiert werden, welche zur Minimierung der Abweichung der optischen Weglängen einerseits und/oder der überlagerten, d.h. der kombinierten Wellenfronten andererseits verwendet
30 werden kann. So kann erreicht werden, dass die Beugungsbilder der beiden überlagerten Modulatorzellen 1, 2 am Ausgang der Lichtmodulationseinrichtung gleiche Intensitäts- und Phasenverteilungen (bis auf die Orthogonalität des Polarisationszustandes) aufweisen. Dies ist ein wichtiger Aspekt für eine gute Hologrammrekonstruktion, wenn eine solche Lichtmodulationseinrichtung bei einem holographischen Display eingesetzt wird. In vergleichbarer Weise ist eine Minimierung des Übersprechens des zwei benachbarte Modulatorzellen 1, 2 durchlaufenden Lichts in der
35 Anordnung auch ein wichtiger Aspekt einer guten Hologrammrekonstruktion.

Fig. 22 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel, mit welchem eine vergleichbare Funktion wie bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 20 realisierbar ist. Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 20 verwendet refraktive Bauteile, nämlich die beiden doppelbrechenden Medien SV1 und SV2. Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 22 hingegen verwendet diffraktive Bauteile, nämlich die dort gezeigten Ablenkungsschichten Vg1, Vg2, Vg3 und Vg4,
40 welche jeweils in Form eines Volumengitters ausgebildet sind. Die Ablenkungsschichten Vg1, Vg2 sind hierbei in Lichtausbreitungsrichtung vor den Modulatorzellen 1, 2 angeordnet. Die Ablenkungsschichten Vg3, Vg4 sind in Lichtausbreitungsrichtung den Modulatorzellen 1, 2 nachgeordnet. Das auf die erste Ablenkungsschicht Vg1 auftreffende Licht, welches nicht von der Blende B ausgeblendet wird, ist unpolarisiert jedoch mit einer

gleichmäßigen Verteilung einzelner Polarisationsanteile oder es weist einen vorgebbaren Polarisationszustand auf, beispielsweise linear polarisiert.

Die erste Ablenkungsschicht Vg1 ist derart ausgebildet, dass das Licht in zwei Teilstrahlen aufgeteilt wird. Der eine Teilstrahl wird im Wesentlichen nicht abgelenkt und ist linear polarisiert, weist z.B. eine TE-Polarisation auf und ist punktiert gezeigt. Der andere Teilstrahl wird um einen vorgebbaren Winkel abgelenkt und ist ebenfalls linear polarisiert, weist z.B. eine TM-Polarisation auf und ist gestrichelt gezeigt. Parallel zu der ersten Ablenkungsschicht Vg1 ist die zweite Ablenkungsschicht Vg2 angeordnet, welche derart ausgebildet ist, dass das nicht abgelenkte Licht nicht abgelenkt wird und dass das um den vorgebbaren Winkel abgelenkte Licht um einen weiteren Winkel abgelenkt wird. Die Beträge der beiden Ablenkwinkel sind im Wesentlichen gleich, nämlich 60 Grad. Das nicht abgelenkte Licht wird in seiner Polarisationsrichtung von der zweiten Ablenkungsschicht Vg2 nachgeordneten strukturierten und in Form einer $\lambda/2$ -Platte ausgebildete Verzögerungsplatte um 90 Grad gedreht. Dementsprechend hat das Licht, welches die zwei Modulatorzellen 1, 2 durchläuft, einen im Wesentlichen gleichen Polarisationszustand.

Die Modulatorzellen 1, 2 sind derart ausgebildet, dass sie die Phase des mit ihnen jeweils wechselwirkenden Lichts verändern können. Zwischen den Modulatorzellen 1, 2 und der dritten Ablenkungsschicht Vg3 ist eine weitere strukturierte und in Form einer $\lambda/2$ -Platte ausgebildete Verzögerungsplatte vorgesehen, welche die Polarisationsrichtung des die Modulatorzelle 2 durchlaufenden Lichts um 90 Grad dreht. Das Licht trifft auf die dritte Ablenkungsschicht Vg3, welche derart ausgebildet ist, dass das die Modulatorzelle 2 durchlaufende Licht im Wesentlichen nicht abgelenkt und das die Modulatorzelle 1 durchlaufende Licht um einen vorgebbaren Winkel abgelenkt wird. Parallel zu der dritten Ablenkungsschicht Vg3 ist die vierte Ablenkungsschicht Vg4 angeordnet, welche derart ausgebildet ist, dass das von der dritten Ablenkungsschicht Vg3 nicht abgelenkte Licht nicht abgelenkt wird und dass das von der dritten Ablenkungsschicht Vg3 um den vorgebbaren Winkel abgelenkte Licht um einen weiteren Winkel abgelenkt wird. Die Beträge der beiden weiteren Ablenkwinkel sind im Wesentlichen gleich. Insoweit werden die die beiden Modulatorzellen 1, 2 durchlaufenden Lichtstrahlen vereinigt und breiten sich im Wesentlichen in gleicher Richtung aus. Wenn beide Modulatorzellen 1, 2 den im Wesentlichen gleichen Phasenwert realisieren, sind die optischen Weglängen der beiden Teilstrahlen im Wesentlichen gleich.

Es gibt Modulatorzellen 1, 2 bzw. SLMs, die nicht mit einer vorgegebenen Eingangspolarisation arbeiten müssen. In diesem Fall ist es möglich, die strukturierte Verzögerungsplatte vor der Modulatorzellen-Ebene wegzulassen und die zweite strukturierte Verzögerungsplatte, welche sich direkt hinter der Modulatorzellen-Ebene befindet, durch eine unstrukturierte Verzögerungsplatte, d.h. eine unstrukturierte Halbwellenlängenplatte, zu ersetzen.

Für eine RGB-Darstellung – also der Verwendung von Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen – können in jeder Ablenkungsschicht Vg1 - Vg4 drei unterschiedliche, für die jeweilige Wellenlänge des Lichts angepasste Volumengitter ineinander belichtet werden. Natürlich ist die in Fig. 22 gezeigte Anordnung auch spalten-, zeilen- oder matrixförmig ergänzt denkbar, wenn nämlich die in Fig. 22 gezeigten Komponenten oberhalb bzw. unterhalb und auch aus der Zeichenebene heraus – vergleichbar zu Fig. 20 – entsprechend wiederholt vorgesehen sind.

In den Figuren sind – bezüglich der Ausbreitungsrichtung des Lichts – die Lichtwellenmultiplexmittel in der Regel unmittelbar den Modulatorzellen des Modulationsfelds nachgeordnet. Es ist jedoch auch möglich, die in den Figuren gezeigten Lichtwellenmultiplexmittel an einer anderen Stelle vorzusehen. So könnte beispielsweise zwischen dem Modulationsfeld und dem Lichtwellenmultiplexmittel ein weiteres optisches Bauteil angeordnet sein. Ein Lichtwellenmultiplexmittel, wie es in den Figuren gezeigt bzw. mit den Patentansprüchen beansprucht ist, könnte somit – bezüglich der Ausbreitungsrichtung des Lichts – dem weiteren optischen Bauteil nachgeordnet sein. Ein solches weiteres optisches Bauteil könnte beispielsweise eine Beleuchtungseinheit sein, wie sie in der DE 10 2009 028 984.4 oder in der PCT/EP2010/058619 beschrieben ist. So könnte das in diese Beleuchtungseinheit eingekoppelte Licht im Wesentlichen senkrecht zu dessen Oberfläche (die parallel zum Modulationsfeld angeordnet

ist) austreten und auf ein reflektiv arbeitendes Modulationsfeld propagieren. Nachdem das von der Beleuchtungseinheit kommende Licht von den Modulatorzellen des Modulationsfelds moduliert und – beispielsweise an einer reflektierenden Schicht des Modulationsfelds – reflektiert wurde, durchläuft das modulierte Licht die Beleuchtungseinheit im Wesentlichen unabgelenkt und trifft dann auf das Lichtwellenmultiplexmittel. Das Lichtwellenmultiplexmittel ist hierbei auf der dem Modulationsfeld abgewandten Seite der Beleuchtungseinheit angeordnet. Damit das an dem Modulationsfeld reflektierte und modulierte Licht die Beleuchtungseinheit ungehindert durchlaufen kann, ist zwischen der Beleuchtungseinheit und dem Modulationsfeld eine entsprechende Folie vorgesehen, welche die Polarisationsrichtung des Lichts pro Durchlauf beispielsweise um 45 Grad dreht.

Abschließend sei ganz besonders darauf hingewiesen, dass die voranstehend erörterten Ausführungsbeispiele lediglich zur Beschreibung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

Zitierte Literatur:

- [1] Chulwoo Oh and Michael J. Escuti: Achromatic polarization gratings as highly efficient thin-film polarizing beamsplitters for broadband light, Proc. SPIE, Vol. 6682, 628211, 2007
- [2] Kim et al: Wide angle nonmechanical beam steering using thin liquid crystal polarization gratings, Proc. SPIE, Vol. 7093, 709302, 2008

Patentansprüche

1. Lichtmodulationseinrichtung mit mindestens einem Modulationsfeld, welches diskret kodierbare Modulatorzellen (P01, P02) aufweist, die zu Modulationselementen (ME) kombiniert sind, wobei mit den Modulatorzellen (P01, P02) interferenzfähige Lichtwellen eines propagierenden Lichtwellenfeldes (LW) räumlich strukturiert mit holographischer Information modulierbar sind, wobei die Modulatorzellen (P01, P02) eines jeden Modulationselementes (ME) in dem Modulationsfeld (ME) bezüglich der Ausbreitungsrichtung des propagierenden Lichtwellenfeldes (LW) nebeneinander angeordnet sind und jedes Modulationselement (ME) mit einem vorgebbaren diskreten komplexen Objektastwert kodierbar ist, um räumlich arrangierte Objektlichtpunkte holographisch zu rekonstruieren, dadurch gekennzeichnet, dass den Modulatorzellen (P01, P02) des Modulationsfeldes (ME) Lichtwellenmultiplexmittel zugeordnet sind, mit welchen für jedes Modulationselement (ME) die durch die Modulatorzellen (P01, P02) modulierten Lichtwellenteile mittels Refraktion oder Diffraction ausgangsseitig zu einem modulierten Lichtwellenmultiplex derart zusammenfügbar sind, dass der modulierte Lichtwellenmultiplex das Modulationselement (ME) im Wesentlichen an einem gemeinsamen Ort und im Wesentlichen mit gleicher Ausbreitungsrichtung verlässt.

2. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtwellenmultiplexmittel mindestens ein Volumenhologramm enthalten.

3. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtwellenmultiplexmittel doppelbrechende optische Komponenten enthalten.

4. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtwellenmultiplexmittel Polarisationschichten aufweisen, welche den ausgehenden Lichtwellenteilen jeder Modulatorzelle (P01, P02) eines Modulationselementes (ME) eine eigene Lichtpolarität zuweist.

5. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtwellenmultiplexmittel eine planparallele optische Platte mit strukturierten Volumenhologrammelementen aufweist, wobei die Volumenhologramme so strukturiert sind, dass den Modulatorzellen (P01, P02) eines Modulationselementes (ME) verschiedene Volumenhologrammelemente zugeordnet sind, welche die optischen Transmissionsachsen innerhalb der planparallelen optischen Platte zueinanderneigen, so dass die modulierten Lichtwellenelemente der Modulatorzellen (P01, P02) des gleichen Modulationselementes (ME) die planparallele optische Platte an einem gemeinsamen Ort verlassen.

6. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Modulationselement (ME) mindestens eine Modulatorzelle (P01, P02) aufweist, welche die Phase und/oder die Amplitude von Lichtwellenteilen diskret moduliert.

7. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Modulatorzellen (P01, P02) einzelner Modulationselemente (ME) reihen- oder zeilenförmig kombiniert sind, wobei auf die Modulatorzellen (P01, P02) der Modulationselemente (ME) polarisierende

Filterfolienstreifen angeordnet sind, welche jeder Modulatorzelle (P01, P02) eines Modulationselements (ME) eine eigene Polarität bzw. Polarisation für die Lichttransmission geben.

8. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Phasenunterschied der Lichtwellenteilen, die verschiedene Modulatorzellen (P01, P02) passieren, dadurch kompensierbar ist, dass den Lichtwellenteilen, die eine Modulatorzelle (P01, P02) passieren, eine vorgebbare Phasenverschiebung aufgeprägt wird.

9. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein vorliegender lateraler Versatz der das Modulationselement (ME) verlassenden Lichtwellenteile mit einer dem Modulationselement (ME) nachgeordneten Filter oder Blende, beispielsweise ein Apodisationsfilter einer vorgebbaren Transmissionscharakteristik oder eine Aperturblende einer vorgebbaren Blendengeometrie, kompensierbar ist.

10. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Lichtwellenmultiplexmittel mindestens ein Polarisationsmittel und eine erste und eine zweite Ablenkungsschicht (Vg1, Vg2) aufweist, dass mit dem Polarisationsmittel dem eine erste Modulatorzelle (1) passierenden Licht eine vorgebbare erste Polarisation aufprägbar ist und dem eine zweite Modulatorzelle (2) passierenden Licht eine vorgebbare zweite Polarisation aufprägbar ist, dass die vorgebbare erste Polarisation linear und senkrecht zu einer vorgebbaren zweiten, linearen Polarisation sein könnte oder wobei die vorgebbare erste Polarisation zirkular und mit entgegengerichtetem Drehsinn zu einer vorgebbaren zweiten, zirkularen Polarisation sein könnte, dass in Lichtausbreitungsrichtung die erste Ablenkungsschicht (Vg1) dem Polarisationsmittel nachgeordnet ist und dass in Lichtausbreitungsrichtung der ersten Ablenkungsschicht (Vg1) in einem vorgebbaren Abstand (d) die zweite Ablenkungsschicht (Vg2) nachgeordnet ist.

11. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Eigenschaft der ersten Ablenkungsschicht (Vg1) derart ausgestaltet ist, dass das die erste Modulatorzelle (1) passierende Licht im Wesentlichen nicht abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle (2) passierende Licht um einen ersten vorgebbaren Winkel abgelenkt wird.

12. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Eigenschaft der zweiten Ablenkungsschicht (Vg2) derart ausgestaltet ist, dass das die erste Modulatorzelle (1) passierende Licht im Wesentlichen nicht abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle (2) passierende Licht um einen zweiten vorgebbaren Winkel abgelenkt wird, wobei der Betrag des zweiten vorgebbaren Winkels im Wesentlichen gleich dem Betrag des ersten vorgebbaren Winkels sein könnte.

13. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in Lichtausbreitungsrichtung der zweiten Ablenkungsschicht (Vg2) eine dritte und eine vierte Ablenkungsschicht (Vg3, Vg4) jeweils in einem vorgebbaren Abstand nachgeordnet sind, dass die optische Eigenschaft der dritten Ablenkungsschicht (Vg3) derart ausgestaltet ist, dass das die erste Modulatorzelle (1) passierende Licht um einen dritten vorgebbaren Winkel abgelenkt und das die zweite

Modulatorzelle (2) passierende Licht im Wesentlichen nicht abgelenkt wird, dass die optische Eigenschaft der vierten Ablenkungsschicht (Vg4) derart ausgestaltet ist, dass das die erste Modulatorzelle (1) passierende Licht um einen weiteren vierten vorgebbaren Winkel abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle (2) passierende Licht im Wesentlichen nicht abgelenkt wird, und dass der Betrag des dritten vorgebbaren Winkels im Wesentlichen gleich dem der Betrag des vierten vorgebbaren Winkels sein könnte.

14. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Polarisationsmittel eine – vorzugsweise in Form einer $\lambda/2$ -Platte ausgebildete – Verzögerungsplatte mit mehreren Bereichen unterschiedlicher Orientierungen aufweist oder dass das Polarisationsmittel eine – vorzugsweise in Form einer $\lambda/2$ -Platte ausgebildete – erste Verzögerungsplatte mit einer ersten Orientierung und eine zweite Verzögerungsplatte einer zweiten Orientierung aufweist, dass die erste Verzögerungsplatte mit der ersten Orientierung dem die erste Modulatorzelle (1) durchlaufenden Licht zugeordnet ist, dass die zweite Verzögerungsplatte mit der zweiten Orientierung dem die zweite Modulatorzelle (2) durchlaufenden Licht zugeordnet ist.

15. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Eigenschaft der ersten Ablenkungsschicht (Pg1) derart ausgestaltet ist, dass das die erste Modulatorzelle (P01) passierende Licht um einen ersten vorgebbaren Winkel in eine erste Richtung abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle (P02) passierende Licht um einen zweiten vorgebbaren Winkel in eine zweite Richtung abgelenkt wird.

16. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 10 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Eigenschaft der zweiten Ablenkungsschicht (Pg2) derart ausgestaltet ist, dass das die erste Modulatorzelle (P01) passierende Licht um den zweiten Winkel abgelenkt und das die zweite Modulatorzelle (P02) passierende Licht um den ersten Winkel abgelenkt wird und dass der erste Winkel dem Betrag nach im Wesentlichen gleichen dem zweiten Winkel sein könnte.

17. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Polarisationsmittel eine – vorzugsweise in Form einer $\lambda/4$ -Platte ausgebildete – Verzögerungsplatte mit mehreren Bereichen unterschiedlicher Orientierungen aufweist oder dass das Polarisationsmittel eine – vorzugsweise in Form einer $\lambda/4$ -Platte ausgebildete – erste Verzögerungsplatte mit einer ersten Orientierung und eine zweite Verzögerungsplatte einer zweiten Orientierung aufweist, dass die erste Verzögerungsplatte mit der ersten Orientierung dem die erste Modulatorzelle (P01) durchlaufenden Licht zugeordnet ist, dass die zweite Verzögerungsplatte mit der zweiten Orientierung dem die zweite Modulatorzelle (P02) durchlaufenden Licht zugeordnet ist.

18. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ablenkungsschicht (Vg1, Vg2, Vg3, Vg4, Pg1, Pg2) eine ein Hologramm und/oder ein Volumengitter und/oder ein Bragg-Gitter aufweisende Schicht oder ein Polarisationsgitter aufweist,

19. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Lichtwellenmultiplexmittel mindestens ein Polarisationsmittel und mindestens ein doppelbrechendes

Medium (SP) vorgebbarer optischer Eigenschaft aufweist, dass mit dem Polarisationsmittel dem eine erste Modulatorzelle (P01) passierenden Licht eine vorgebbare erste Polarisation aufprägbar ist und dem eine zweite Modulatorzelle (P02) passierenden Licht eine vorgebbare zweite Polarisation aufprägbar ist, wobei die vorgebbare erste Polarisation senkrecht zur vorgebbaren zweiten Polarisation sein könnte, und
5 dass in Lichtausbreitungsrichtung das doppelbrechende Medium (SP) dem Polarisationsmittel und/oder der ersten und zweiten Modulatorzelle (P01, P02) nachgeordnet ist.

20. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Eigenschaft des doppelbrechenden Mediums (SP) derart ausgestaltet ist, dass das doppelbrechende Medium (SP) das die erste Modulatorzelle (P01) passierende Licht im Wesentlichen nicht ablenkt und
10 dass das doppelbrechende Medium (SP) das die zweite Modulatorzelle (P02) passierende Licht um einen vorgebbaren Winkel ablenkt.

21. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das doppelbrechende Medium (SP) das die zweite Modulatorzelle (P02) passierende Licht an einer eingangsseitigen Grenzfläche des doppelbrechenden Mediums (SP) um einen vorgebbaren ersten
15 Winkel ablenkt und an einer zur eingangsseitigen Grenzfläche planparallelen ausgangseitigen Grenzfläche des doppelbrechenden Mediums (SP) um einen vorgebbaren zweiten Winkel ablenkt, wobei zum im Wesentlichen parallel versetzten Austritt des Lichts der Betrag des zweiten vorgebbaren Winkels im Wesentlichen gleich dem Betrag des ersten vorgebbaren Winkels sein könnte.

22. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet,
20 dass in Lichtausbreitungsrichtung dem doppelbrechenden Medium (SP1) mit einer normalen oder anormalen Dispersion ein weiteres doppelbrechendes Medium (SP2) mit einer anormalen oder normalen Dispersion nachgeordnet ist und dass das Verhältnis der Dicken der zwei doppelbrechenden Medien (SP1, SP2) vorgebbbar ist und vorzugsweise von dem Verhältnis der Brechungsindexunterscheide der zwei doppelbrechenden Medien (SP1, SP2) bei mindestens zwei vorgebbaren Wellenlängen des Lichts
25 abhängt.

23. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass in Lichtausbreitungsrichtung dem doppelbrechenden Medium (SP) ein weiteres doppelbrechendes Medium (SP3) nachgeordnet ist, dass die optische Eigenschaft des weiteren doppelbrechenden Mediums (SP3) derart ausgestaltet ist, dass das weitere doppelbrechende Medium (SP3) das die erste
30 Modulatorzelle (P01) passierende Licht an einer eingangsseitigen Grenzfläche des weiteren doppelbrechenden Mediums (SP3) um einen vorgebbaren dritten Winkel ablenkt und an einer zur eingangsseitigen Grenzfläche planparallelen ausgangseitigen Grenzfläche des weiteren doppelbrechenden Mediums (SP3) um einen vorgebbaren vierten Winkel ablenkt, dass das weitere doppelbrechende Medium (SP3) das die zweite Modulatorzelle (P02) passierende Licht im Wesentlichen
35 nicht ablenkt, wobei zum im Wesentlichen parallel versetzten Austritt des Lichts der Betrag des dritten vorgebbaren Winkels im Wesentlichen gleich dem Betrag des vierten vorgebbaren Winkels sein könnte.

24. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass in Lichtausbreitungsrichtung dem doppelbrechenden Medium (SP; SP1, SP2, SP3) oder den

Ablenkungsschichten (Vg1, Vg2, Vg3, Vg4, Pg1, Pg2) ein als Analysator wirkendes Polarisationsmittel (WGP, Pol) vorgegebbarer optischer Eigenschaft nachgeordnet ist.

25. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Lichtwellenmultiplexmittel mindestens zwei doppelbrechende Medien (SV1, SV2) aufweist, dass in
5 Lichtausbreitungsrichtung vor und nach den Modulatorzellen (1, 2) jeweils ein doppelbrechendes Medium (SV1, SV2) einer jeweils vorgebbaren optischen Eigenschaft angeordnet ist, dass die optische Eigenschaft des vor den Modulatorzellen (1, 2) angeordneten doppelbrechenden Mediums (SV1) derart
10 ausgestaltet ist, dass ein erster Teil des Lichts um einen ersten vorgebbaren Winkel in Richtung der ersten Modulatorzelle (1) abgelenkt wird und ein anderer Teil des Lichts nicht abgelenkt wird, dass die optische Eigenschaft des nach den Modulatorzellen angeordneten doppelbrechenden Mediums (SV2) derart
15 ausgestaltet ist, dass der andere Teil des Lichts um einen zweiten vorgebbaren Winkel abgelenkt wird und der erste Teil des Lichts nicht abgelenkt wird.

26. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens
15 zwei doppelbrechende Medien (SV1, SV2) im Wesentlichen planparallel angeordnete Grenzflächen aufweisen und/oder dass zwischen den zwei doppelbrechenden Medien (SV1, SV2) eine – vorzugsweise in Form einer $\lambda/2$ -Platte ausgebildete – Verzögerungsplatte angeordnet ist.

27. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, dass in
20 Lichtausbreitungsrichtung vor dem ersten doppelbrechenden Medium (SV1) eine Blendenanordnung vorgesehen ist, welche derart ausgestaltet ist, dass der nicht abgelenkte Teil des Lichts, der sich in Richtung jeder zweiten Modulatorzelle (2) ausbreiten würde, ausgeblendet wird.

28. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass
25 das Lichtwellenmultiplexmittel ein Linsenmittel und ein Prismenmittel aufweist, dass mit dem Linsenmittel das eine erste Modulatorzelle passierende Licht (106) in einen ersten Bereich in einer in Lichtausbreitungsrichtung dem Linsenmittel nachgeordneten Ebene fokussierbar ist, dass mit dem Linsenmittel das eine zweite Modulatorzelle passierende Licht (108) in einen zweiten Bereich in die Ebene fokussierbar ist, dass das Prismenmittel an der Ebene angeordnet ist und dass das Prismenmittel derart ausgebildet ist, dass mit dem Prismenmittel das Licht des ersten Bereichs in eine erste vorgebbare
30 Richtung und das Licht des zweiten Bereichs in eine zweite vorgebbare Richtung ablenkbar ist und dass die erste und die zweite vorgebbare Richtung im Wesentlichen identisch sind.

29. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Bereich
30 von dem zweiten Bereich beabstandet ist und/oder dass das Linsenmittel ein Lentikular (L) und das Prismenmittel ein Prismen-Array (P) aufweist.

30. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass
35 das Lichtwellenmultiplexmittel ein erstes Prismenmittel und ein zweites Prismenmittel aufweist, dass mit dem ersten Prismenmittel das eine erste Modulatorzelle passierende Licht (106) in eine erste Richtung ablenkbar ist, dass das eine zweite Modulatorzelle passierende Licht (108) nicht ablenkbar ist, dass in Lichtausbreitungsrichtung dem ersten Prismenmittel das zweite Prismenmittel in einem vorgebbaren

Abstand (d) nachgeordnet ist und dass das zweite Prismenmittel derart ausgebildet ist, dass mit dem zweiten Prismenmittel das von dem ersten Prismenmittel abgelenkte Licht (110) in eine vorgebbare Richtung ablenkbar ist und dass das nicht abgelenkte Licht (112) von dem zweiten Prismenmittel nicht abgelenkt wird.

5 31. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Prismenmittel ein Prismen-Array (P2) mit doppelbrechenden Prismenelementen aufweist, dass das die erste Modulatorzelle passierende Licht (106) derart polarisiert ist, dass es von einem doppelbrechenden Prismenelement des zweiten Prismenmittels ablenkbar ist, und dass das die zweite Modulatorzelle passierende Licht (108) derart polarisiert ist, dass es nicht vom zweiten Prismenmittel abgelenkt wird.

10 32. Lichtmodulationseinrichtung nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Prismenmittel ein Prismen-Array (P1) mit Prismenelementen aufweist, dass die Prismenelemente derart angeordnet sind, dass jeweils nur dem die erste Modulatorzelle passierenden Licht (106) ein Prismenelement und dem die zweite Modulatorzelle passierenden Licht (108) kein Prismenelement zugeordnet ist.

15 33. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass ein Apodisationsbauteil (APF) vorgesehen ist, welches auf die jeweils zu dem modulierten Lichtwellenmultiplex vereinigten Lichtstrahlen eines Modulationselements (ME) wirkt, und dass das Apodisationsbauteil (APF) ein im Wesentlichen von der jeweiligen Wellenlänge des verwendeten Lichts unabhängiges neutrales Intensitätsprofil in einer Richtung quer zur Lichtausbreitungsrichtung aufweist.

20 34. Lichtmodulationseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass ein Apodisationsbauteil (APFC) vorgesehen ist, welches auf die jeweils zu dem modulierten Lichtwellenmultiplex vereinigten Lichtstrahlen eines Modulationselements (ME) wirkt, dass das Apodisationsbauteil (APFC) mindestens zwei im Wesentlichen von der jeweiligen Wellenlänge des verwendeten Lichts abhängige Intensitätsprofile aufweist, dass die Intensitätsprofile um einen
25 vorgebbaren Wert lateral in einer Richtung quer zur Lichtausbreitungsrichtung gegeneinander versetzt sind und dass die Intensitätsprofile in einzelnen Schichten (APFSR, APFSG, APFSB) bezüglich der Lichtausbreitungsrichtung hintereinander angeordnet sein können.

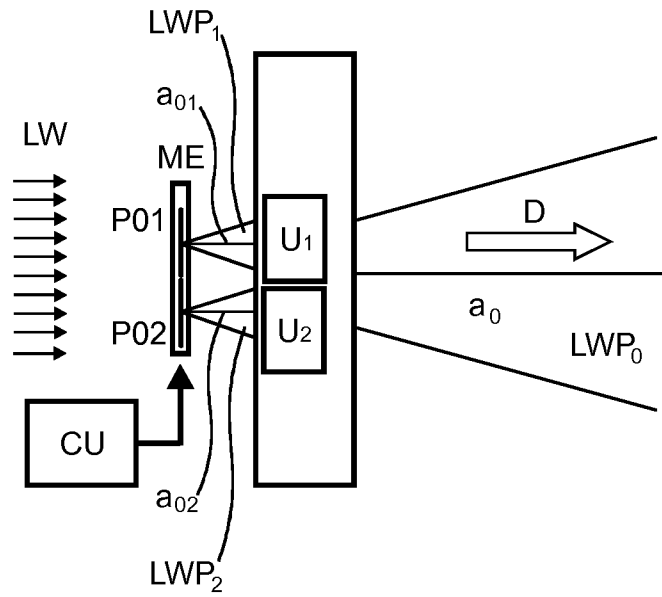


FIG. 1

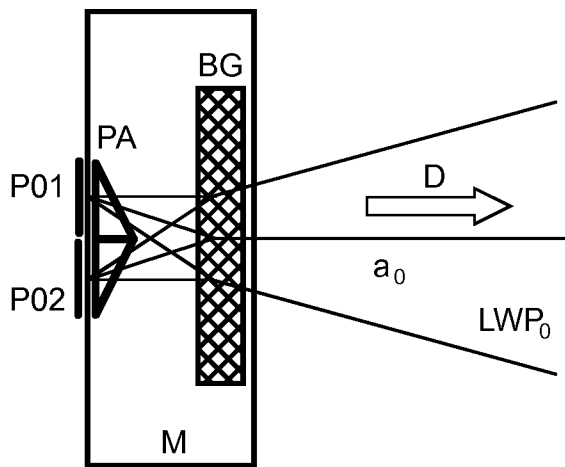


FIG. 2

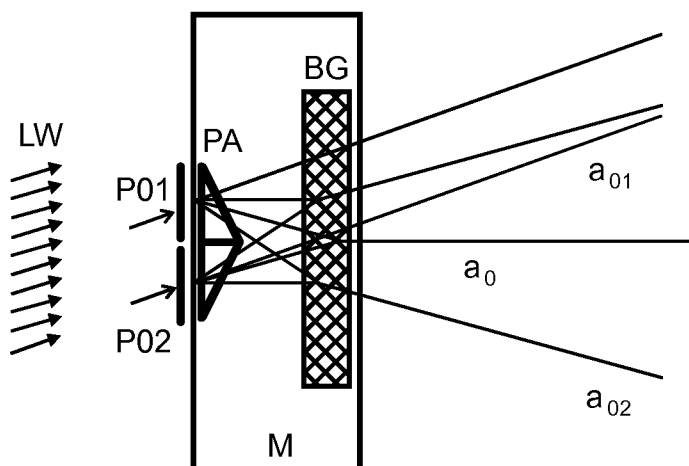


FIG. 3

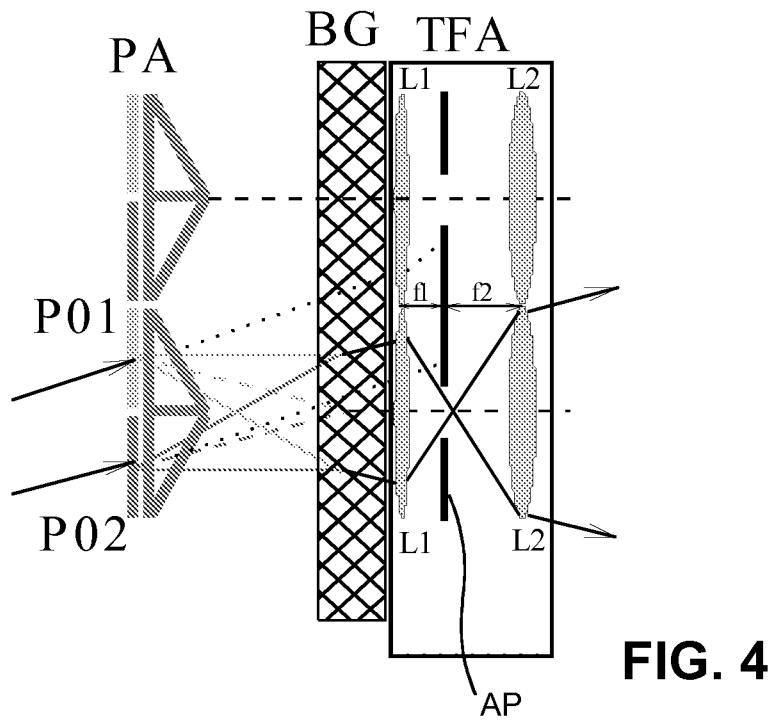


FIG. 4

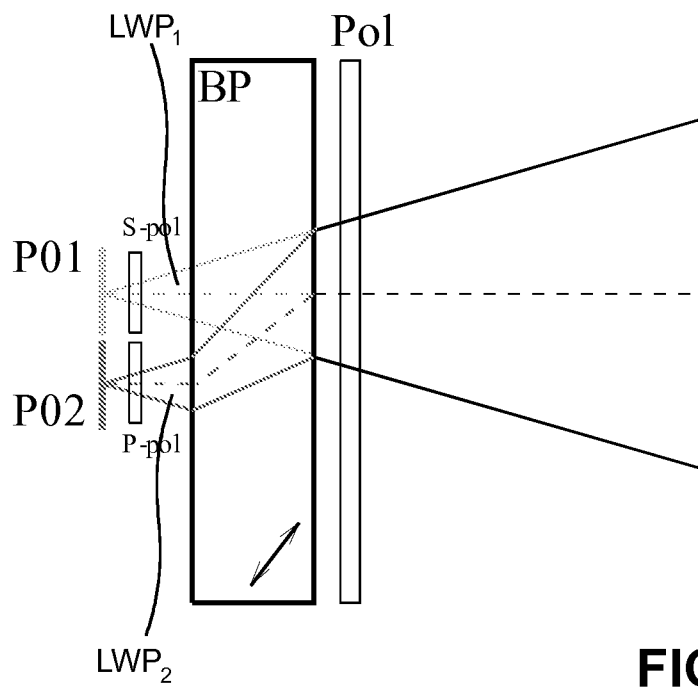


FIG. 5

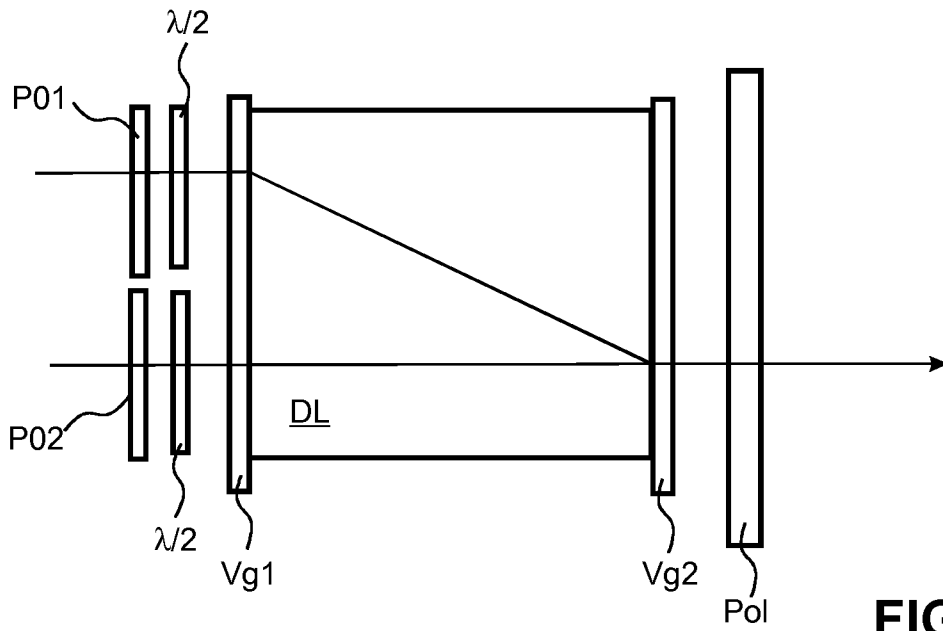


FIG. 10

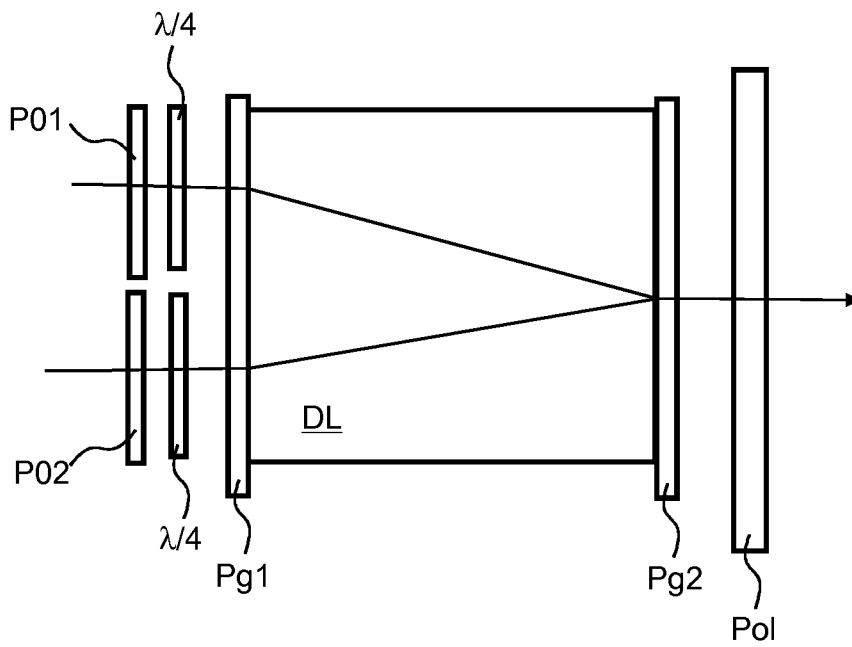


FIG. 11

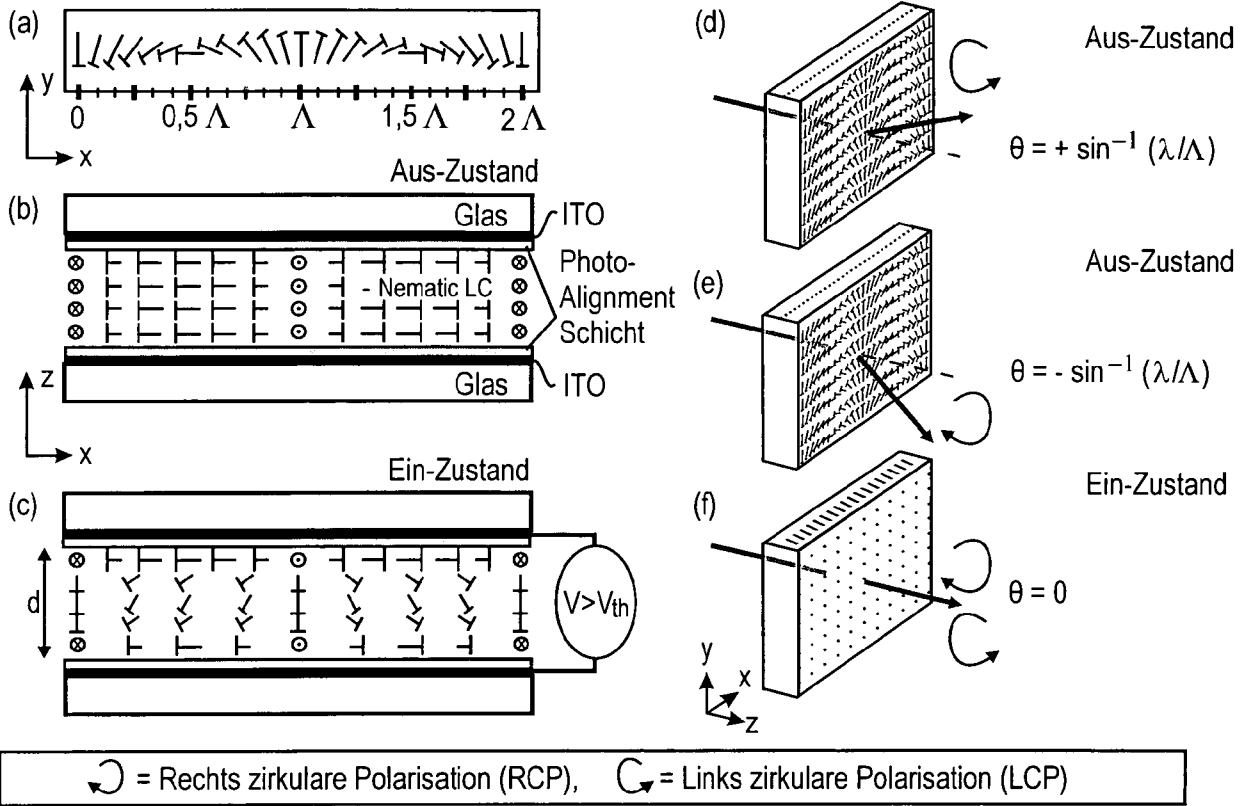


FIG. 9

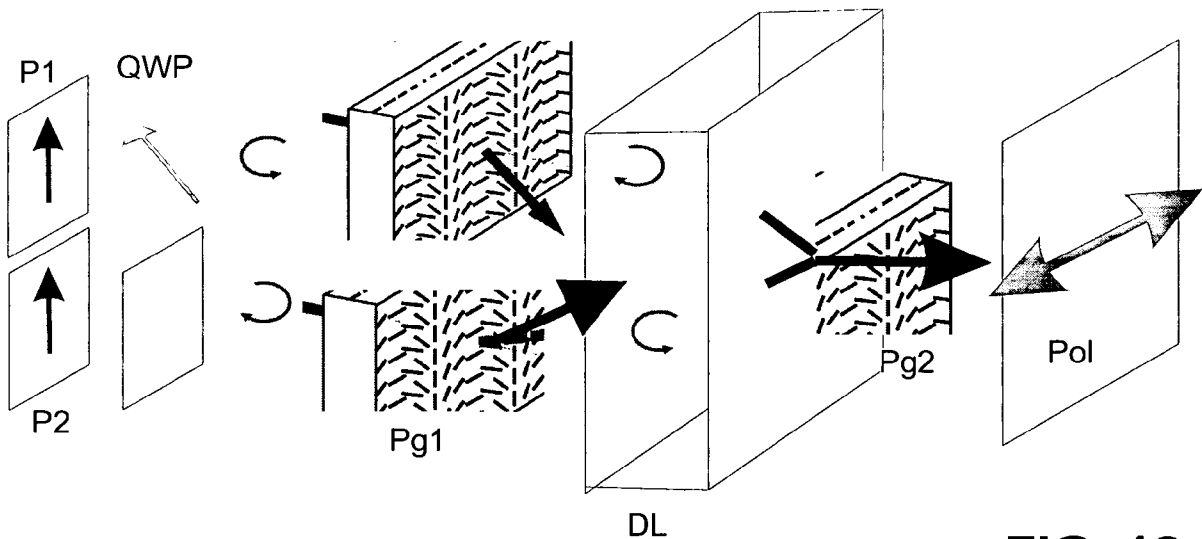


FIG. 12

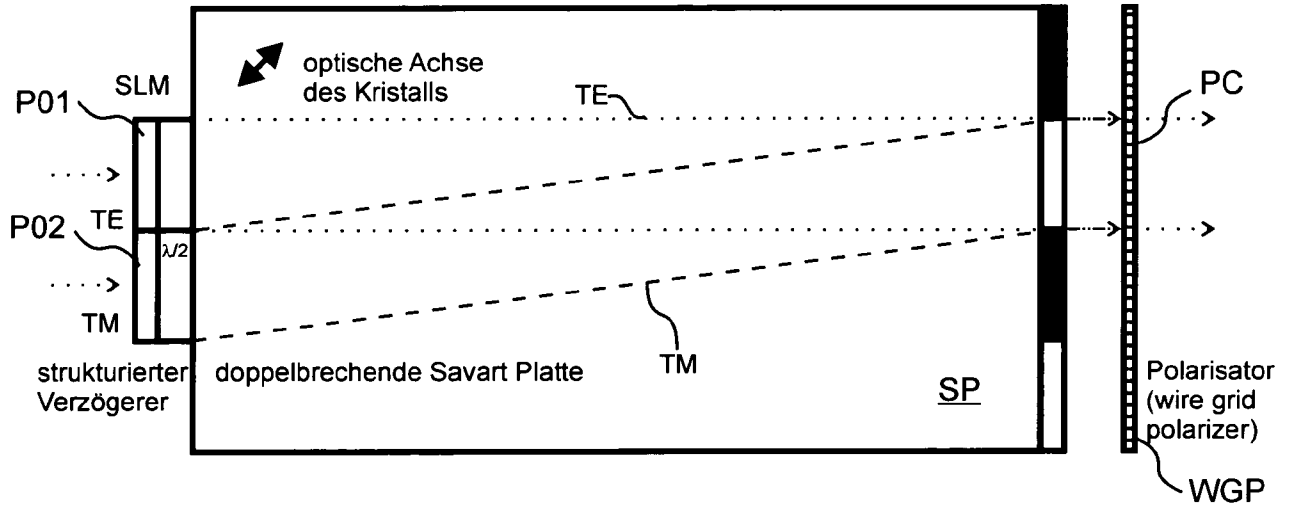


FIG. 13

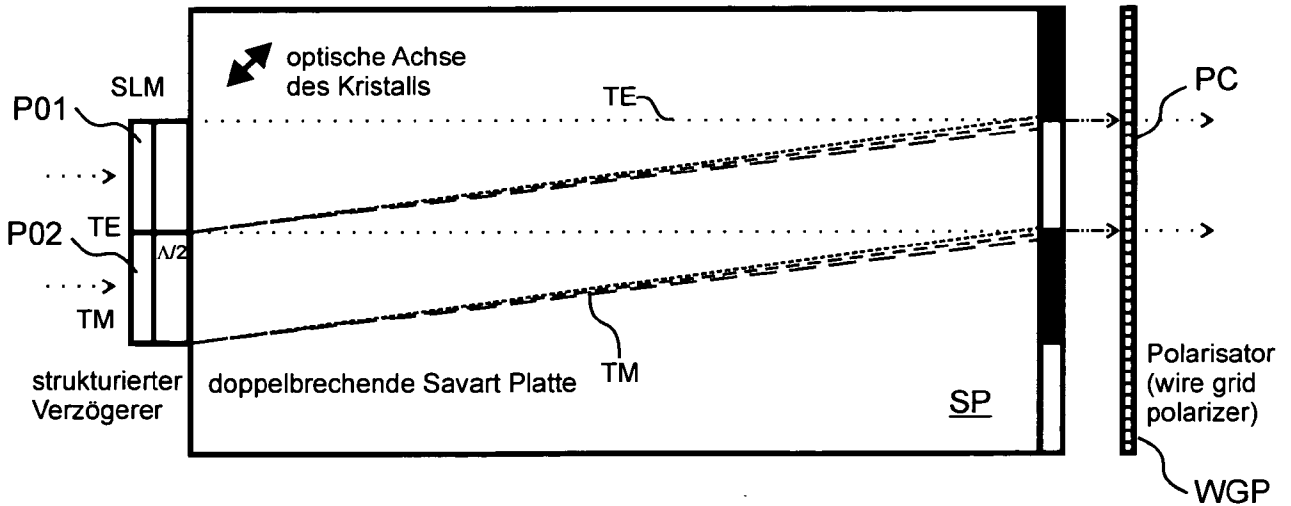


FIG. 14

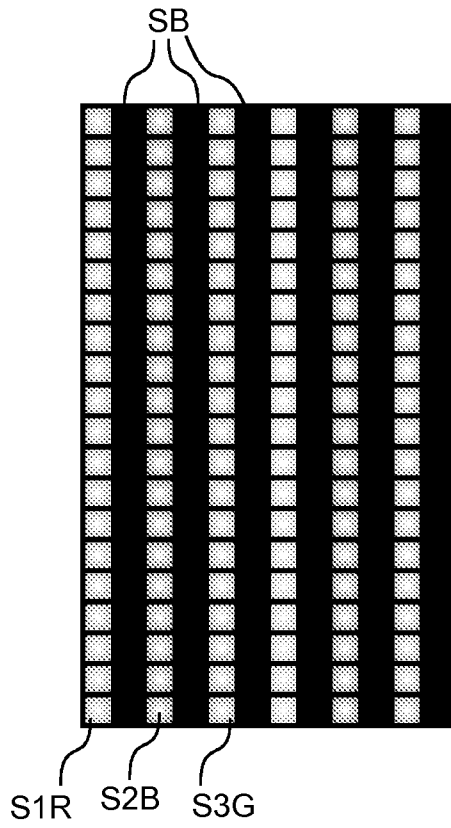


FIG. 15

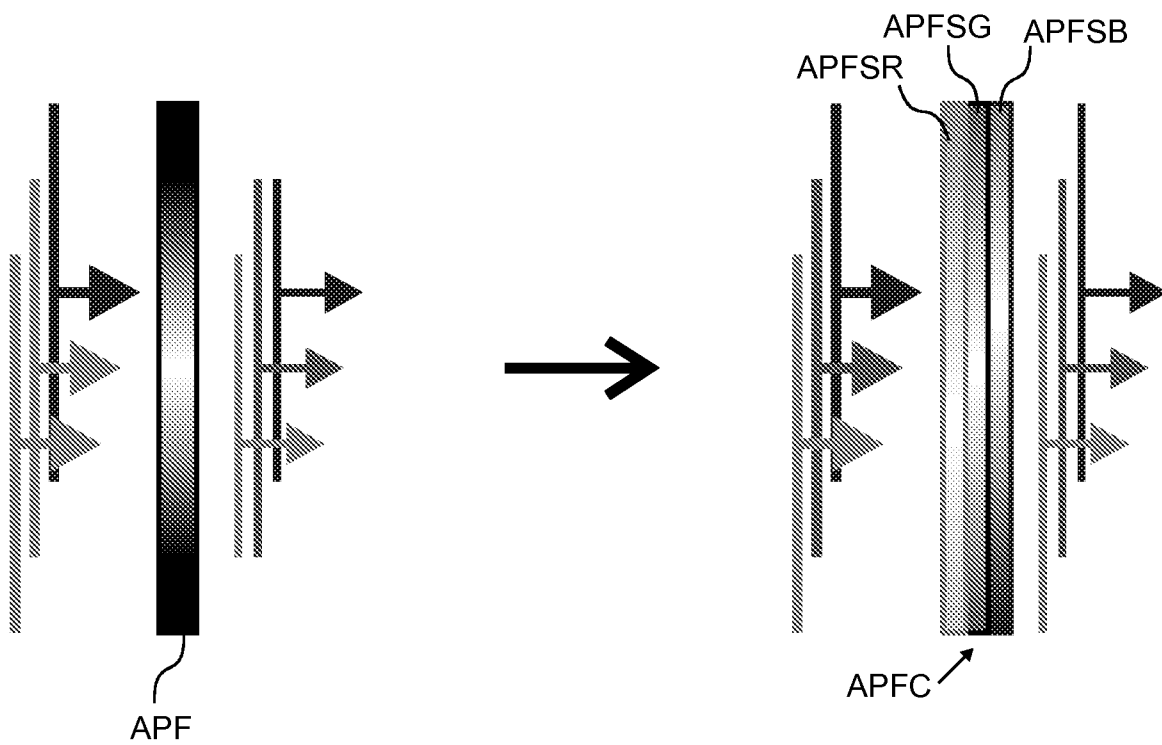


FIG.16

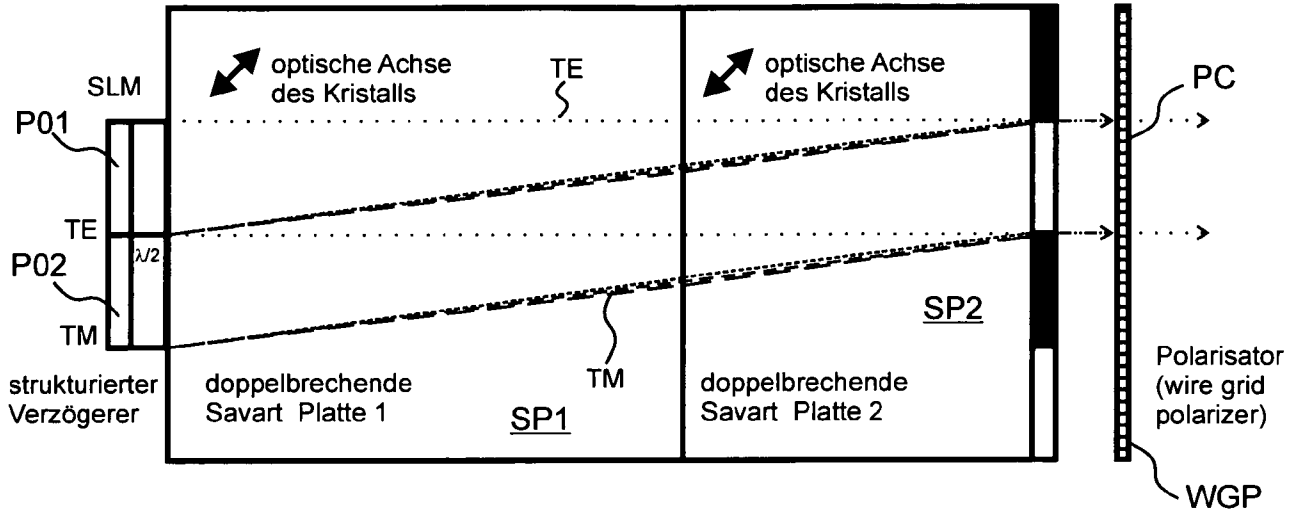


FIG. 17

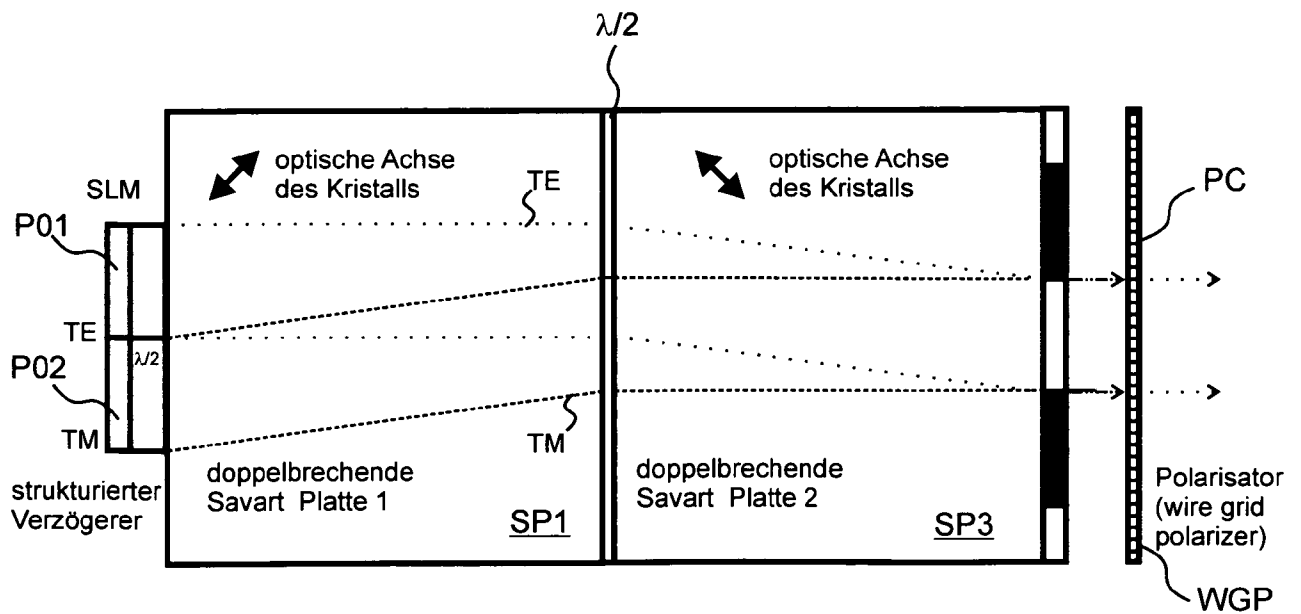


FIG. 21

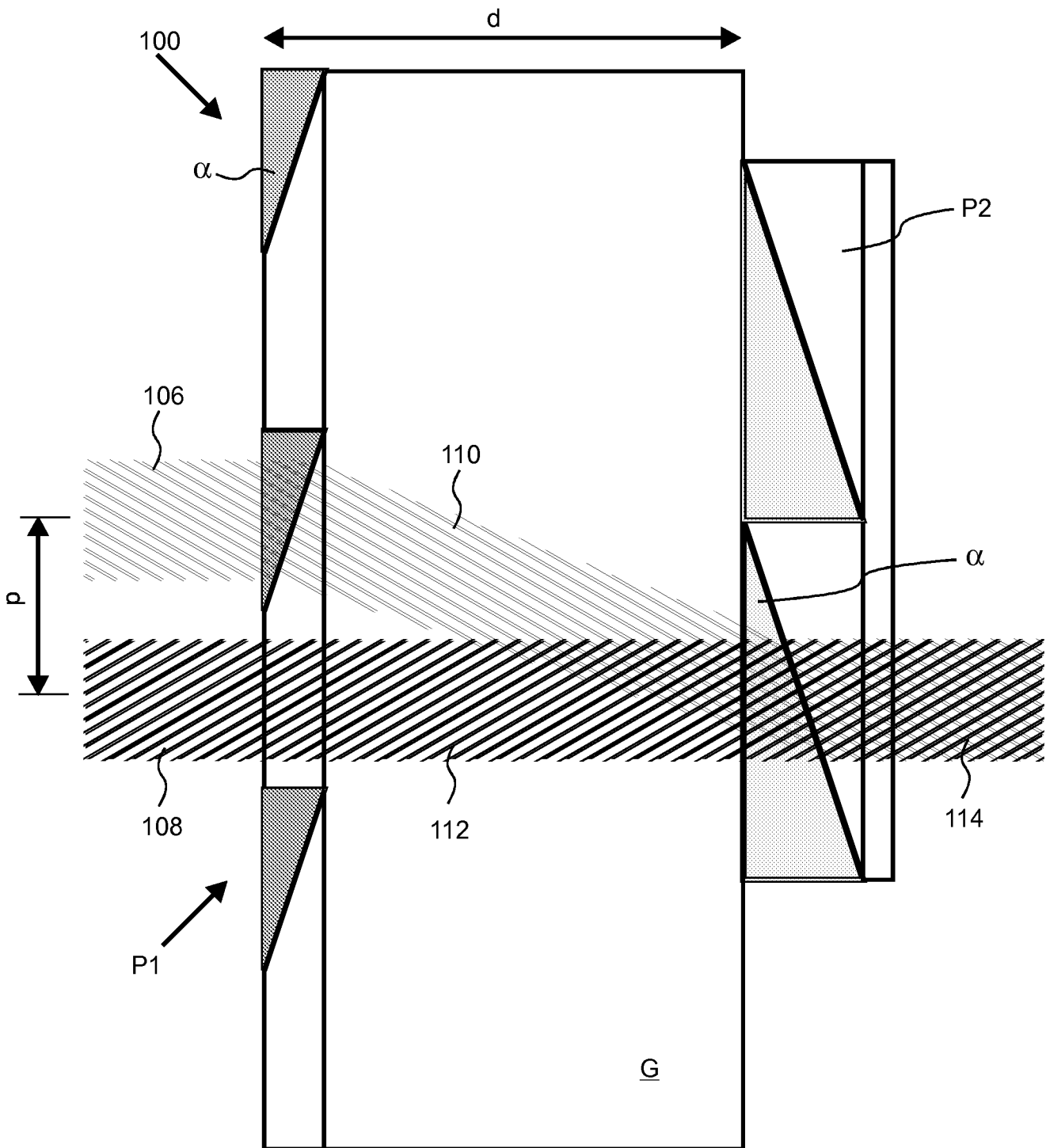


FIG. 19

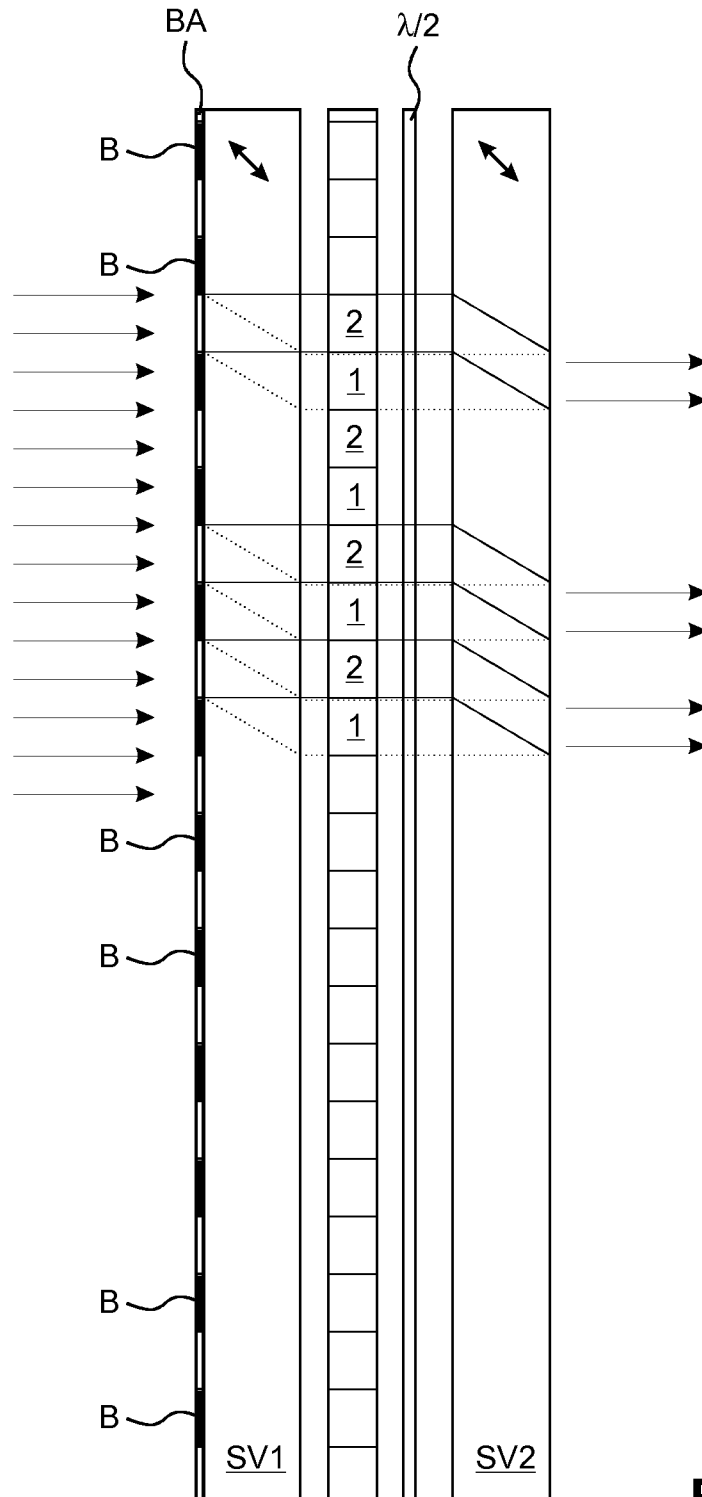


FIG. 20

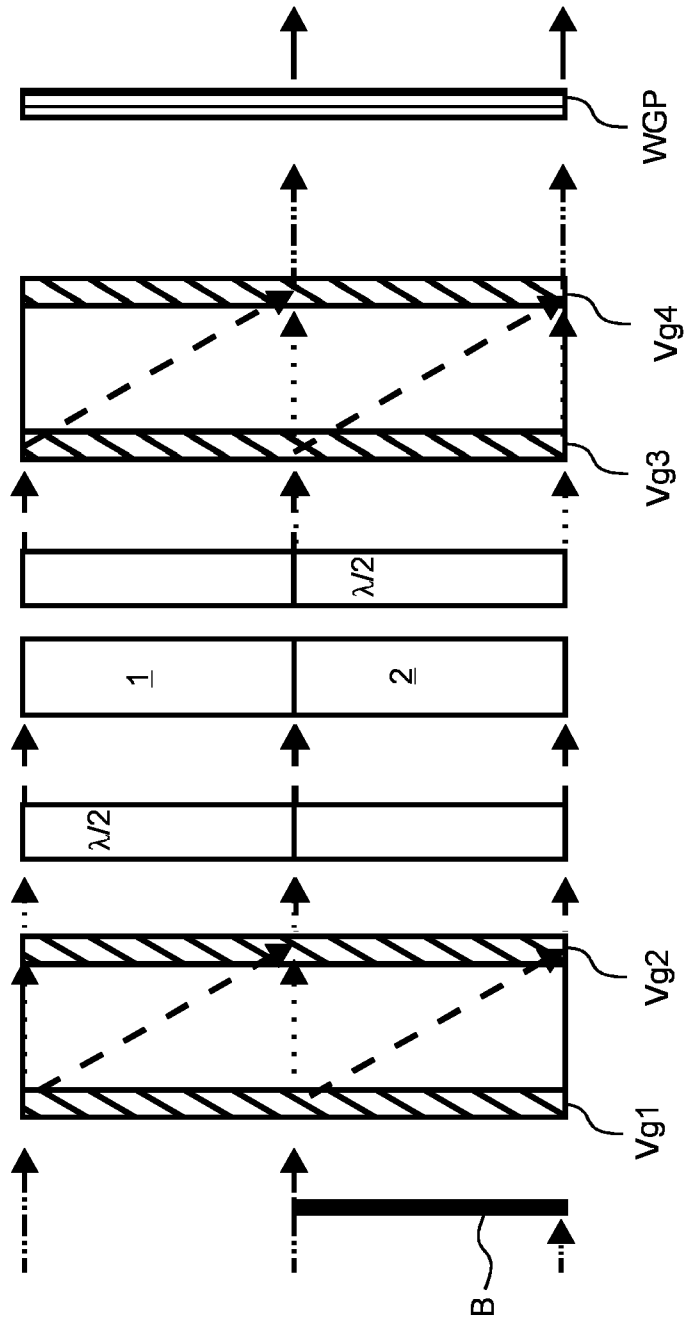


FIG. 22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/058626

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G03H1/08 G02B27/10 G02B27/28 G02B5/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 G03H G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2009/050294 A2 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]; FUETTERER GERALD [DE]; KROLL BO [GB]; BU) 23 April 2009 (2009-04-23) the whole document	1-4, 6-8, 10-27
Y	-----	5
Y	US 4 547 037 A (CASE STEVEN K [US]) 15 October 1985 (1985-10-15) the whole document	5
A	-----	
A	US 2005/248820 A1 (MOSER CHRISTOPHE [US] ET AL) 10 November 2005 (2005-11-10) the whole document	1, 2, 5
A	-----	
A	US 2002/181048 A1 (KUYKENDALL JACOB L [US] ET AL) 5 December 2002 (2002-12-05) the whole document	1, 2, 5
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 26 Oktober 2010	Date of mailing of the international search report 07/12/2010
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Lutz, Christoph
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/058626

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2006/109876 A1 (DONOGHUE JOHN [US] ET AL) 25 May 2006 (2006-05-25) the whole document	1,2,5
A	US 6 859 316 B1 (HUANG YONGLIN [US] ET AL) 22 February 2005 (2005-02-22) the whole document	3,7, 19-21
A	US 5 740 288 A (PAN JING-JONG [US]) 14 April 1998 (1998-04-14) the whole document	3,7, 19-21
A	US 2002/168128 A1 (CHANG KOK-WAI [US] ET AL) 14 November 2002 (2002-11-14) the whole document	3,4,7, 10-12, 14,19-26
A	US 6 285 473 B1 (NISHI TETSUYA [JP] ET AL) 4 September 2001 (2001-09-04) abstract; figures 8-24 column 3 - column 35	3,4,7, 10-14, 19-23, 25,26
A	US 6 630 289 B1 (KWOK HOI-SING [HK] ET AL) 7 October 2003 (2003-10-07) abstract; figure 3 column 5, line 13 - column 5, line 22 column 6, line 18 - column 6, line 27	7,10-12
A	DE 20 58 418 A1 (PHILIPS NV) 9 June 1971 (1971-06-09) cited in the application figures 13,15 page 17, line 12 - page 18, line 10 page 19, line 17 - page 20, line 2	22,23
A	US 2002/131027 A1 (TAKEZAWA TAKESHI [JP] ET AL) 19 September 2002 (2002-09-19) figures 3, 4, 11 page 3, paragraph 0046 - page 6, paragraph 0076 page 9, paragraph 0117 - page 9, paragraph 0124	4,10-12, 14,27
A	EP 0 545 524 A1 (IBM [US]) 9 June 1993 (1993-06-09) the whole document	2,5, 10-13,18
A	GB 2 384 318 A (SHARP KK [JP]) 23 July 2003 (2003-07-23) abstract figures 1, 3 page 1 - page 7	4,10-12, 14
	----- -/--	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/058626

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>RAVI K KOMANDURI CHULWOO OH AND MICHAEL J ESCUTI ET AL: "34.4L: Late-News Paper: Polarization Independent Projection Systems using Thin Film Polymer Polarization Gratings and Standard Liquid Crystal Microdisplays" SID 2009, 31 May 2009 (2009-05-31), pages 487-490, XP007017101 SOCIETY FOR INFORMATION DISPLAY, LOS ANGELES, USA ISSN: 0009-966X the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	4,15-18
A	<p>KIM, OH, ESCUTI, HOSTING, SERATI: "Wide angle nonmechanical beam steering using thin liquid crystal polarization gratings" PROC. OF SPIE, vol. 7093, 2008, pages 709302-1-709302-12, XP002606928 cited in the application the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	4,15-18

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
1-8, 10-27
4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has found that the international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims 1, 2, 5, 6, 8

The claims 1, 2, 5, 6 and 8 relate to a pixel-based “light modulation device” for the reconstruction of holographical object light points, wherein several pixels are combined to a “modulation element” in order to allow the coding of complex values (for example two phase coding). In addition, beam combiners, i.e. “light multiplexing means”, are associated to the pixels of the “modulation element”, which unite the light beams of the individual pixels to a single beam.

Group 1a: The common technical feature of the claims 1, 2 and 5 is the use of volume holograms as “light multiplexing means”.

Group 1b: The common technical feature of claims 6 and 8 is the use of phase and/or amplitude modulation.

Groups 1a and 1b are not consistent among each other, but both groups could be searched without great additional effort.

2. Claims 3, 7, 19-23, 25-27 (in full); 24 (in part)

The claims 3, 7, 19-23, 24 (first option), 25-27 and 31 (use of birefringent material) relate to a pixel-based “light modulation device” for the reconstruction of holographical object light points, wherein several pixels are combined to a “modulation element” in order to allow the coding of complex values (for example two phase coding). In addition, beam combiners, i.e. “light multiplexing means”, are associated to the pixels of the “modulation element”, which unite the light beams of the individual pixels to a single beam. The common technical feature is in this case the use of monolithic, “birefringent” materials as “light multiplexing means”.

3. Claim 4

Claim 4 relates to a pixel-based “light modulation device” for the reconstruction of holographical object light points, wherein several pixels are combined to a “modulation element” in order to allow the coding of complex values (for example two phase coding). In addition, beam combiners, i.e. “light multiplexing means” are associated to the pixels of the “modulation element”, which unite the light beams of the individual pixels to a single beam. The common technical feature is the use of structured “polarization means” which impress a specific polarity on the individual pixels (e.g. left- or right-hand circular).

4. Claims 9, 33, 34

The claims 9, 33 and 34 relate to a pixel-based “light modulation device” for the reconstruction of holographical object light points, wherein several pixels are combined to a “modulation element” in order to allow the coding of complex values (for example two phase coding). In addition, beam combiners, i.e. “light multiplexing means” are associated to the pixels of the “modulation element”, which unite the light beams of the individual pixels to a single beam. The common technical feature is the use of special diaphragms or filters, e.g. apodization filters.

5. Claims 10-18 (in full); 24 (in part)

The claims 10-18 and 24 (second option: deflection layers) relate to a pixel-based “light modulation device” for the reconstruction of holographical object light points, wherein several pixels are combined to a “modulation element” in order to allow the coding of complex values (for example two phase coding). In addition, beam combiners, i.e. “light multiplexing means” are associated to the pixels of the “modulation element”, which unite the light beams of the individual pixels to a single beam. The common technical features are the use of an arrangement of several “deflection layers” having certain distances between the layers in combination with structured polarization means as “light multiplexing means”.

6. Claims 28-32

The claims 28-32 relate to a pixel-based “light modulation device” for the reconstruction of holographical object light points, wherein several pixels are combined to a “modulation element” in order to allow the coding of complex values (for example two phase coding). In addition, beam combiners, i.e. “light multiplexing means” are associated to the pixels of the “modulation element”, which unite the light beams of the individual pixels to a single beam. The common technical feature is the use of lenses and/or prisms as “light multiplexing means”.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/058626

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2009050294 A2	23-04-2009	US 2010277779 A1	04-11-2010
US 4547037 A	15-10-1985	NONE	
US 2005248820 A1	10-11-2005	WO 2005094375 A2	13-10-2005
US 2002181048 A1	05-12-2002	NONE	
US 2006109876 A1	25-05-2006	NONE	
US 6859316 B1	22-02-2005	AU 6361300 A	19-02-2001
		WO 0109655 A1	08-02-2001
		US 6282025 B1	28-08-2001
		US 6373631 B1	16-04-2002
		US 6331913 B1	18-12-2001
US 5740288 A	14-04-1998	NONE	
US 2002168128 A1	14-11-2002	NONE	
US 6285473 B1	04-09-2001	US 6768573 B1	27-07-2004
US 6630289 B1	07-10-2003	CN 1339715 A	13-03-2002
		CN 1734327 A	15-02-2006
		HK 1046734 A1	15-09-2006
		HK 1091553 A1	09-04-2010
		US 2004008298 A1	15-01-2004
DE 2058418 A1	09-06-1971	BE 759837 A1	03-06-1971
		CA 924895 A1	24-04-1973
		CH 532795 A	15-01-1973
		FR 2074966 A5	08-10-1971
		GB 1335197 A	24-10-1973
		JP 51024261 B	22-07-1976
		NL 6918301 A	08-06-1971
		SE 369970 B	23-09-1974
US 2002131027 A1	19-09-2002	WO 0201289 A1	03-01-2002
		JP 2002014419 A	18-01-2002
		TW 586019 B	01-05-2004
EP 0545524 A1	09-06-1993	JP 5216386 A	27-08-1993
GB 2384318 A	23-07-2003	CN 1432828 A	30-07-2003
		JP 2003337223 A	28-11-2003
		US 2003137626 A1	24-07-2003

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. G03H1/08	G02B27/10	G02B27/28 G02B5/32
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G03H G02B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2009/050294 A2 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]; FUETTERER GERALD [DE]; KROLL BO [GB]; BU) 23. April 2009 (2009-04-23) das ganze Dokument	1-4, 6-8, 10-27
Y	-----	5
Y	US 4 547 037 A (CASE STEVEN K [US]) 15. Oktober 1985 (1985-10-15) das ganze Dokument	5
A	-----	
A	US 2005/248820 A1 (MOSER CHRISTOPHE [US] ET AL) 10. November 2005 (2005-11-10) das ganze Dokument	1, 2, 5
A	-----	
A	US 2002/181048 A1 (KUYKENDALL JACOB L [US] ET AL) 5. Dezember 2002 (2002-12-05) das ganze Dokument	1, 2, 5

	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
26. Oktober 2010		07/12/2010
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Lutz, Christoph

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2006/109876 A1 (DONOGHUE JOHN [US] ET AL) 25. Mai 2006 (2006-05-25) das ganze Dokument	1,2,5
A	US 6 859 316 B1 (HUANG YONGLIN [US] ET AL) 22. Februar 2005 (2005-02-22) das ganze Dokument	3,7, 19-21
A	US 5 740 288 A (PAN JING-JONG [US]) 14. April 1998 (1998-04-14) das ganze Dokument	3,7, 19-21
A	US 2002/168128 A1 (CHANG KOK-WAI [US] ET AL) 14. November 2002 (2002-11-14) das ganze Dokument	3,4,7, 10-12, 14,19-26
A	US 6 285 473 B1 (NISHI TETSUYA [JP] ET AL) 4. September 2001 (2001-09-04) Zusammenfassung; Abbildungen 8-24 Spalte 3 - Spalte 35	3,4,7, 10-14, 19-23, 25,26
A	US 6 630 289 B1 (KWOK HOI-SING [HK] ET AL) 7. Oktober 2003 (2003-10-07) Zusammenfassung; Abbildung 3 Spalte 5, Zeile 13 - Spalte 5, Zeile 22 Spalte 6, Zeile 18 - Spalte 6, Zeile 27	7,10-12
A	DE 20 58 418 A1 (PHILIPS NV) 9. Juni 1971 (1971-06-09) in der Anmeldung erwähnt Abbildungen 13,15 Seite 17, Zeile 12 - Seite 18, Zeile 10 Seite 19, Zeile 17 - Seite 20, Zeile 2	22,23
A	US 2002/131027 A1 (TAKEZAWA TAKESHI [JP] ET AL) 19. September 2002 (2002-09-19) Abbildungen 3, 4, 11 Seite 3, Absatz 0046 - Seite 6, Absatz 0076 Seite 9, Absatz 0117 - Seite 9, Absatz 0124	4,10-12, 14,27
A	EP 0 545 524 A1 (IBM [US]) 9. Juni 1993 (1993-06-09) das ganze Dokument	2,5, 10-13,18
A	GB 2 384 318 A (SHARP KK [JP]) 23. Juli 2003 (2003-07-23) Zusammenfassung Abbildungen 1, 3 Seite 1 - Seite 7	4,10-12, 14
	-/--	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>RAVI K KOMANDURI CHULWOO OH AND MICHAEL J ESCUTI ET AL: "34.4L: Late-News Paper: Polarization Independent Projection Systems using Thin Film Polymer Polarization Gratings and Standard Liquid Crystal Microdisplays" SID 2009, 31. Mai 2009 (2009-05-31), Seiten 487-490, XP007017101 SOCIETY FOR INFORMATION DISPLAY, LOS ANGELES, USA ISSN: 0009-966X das ganze Dokument</p>	4,15-18
A	<p>KIM, OH, ESCUTI, HOSTING, SERATI: "Wide angle nonmechanical beam steering using thin liquid crystal polarization gratings" PROC. OF SPIE, Bd. 7093, 2008, Seiten 709302-1-709302-12, XP002606928 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument</p>	4,15-18

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. Ansprüche Nr. _____
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich _____

2. Ansprüche Nr. _____
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich _____

3. Ansprüche Nr. _____
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr. _____
1-8, 10-27

4. Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1, 2, 5, 6, 8

Die Ansprüche 1, 2, 5, 6, 8 beziehen sich auf eine Pixel-basierte "Lichtmodulationseinrichtung" zur Rekonstruktion holographischer Objektlichtpunkte, wobei mehrere Pixel zu einem "Modulationselement" zusammengefasst werden, um die Kodierung komplexer Werte zu erlauben (z.B. Zwei-Phasenkodierung). Zusätzlich werden den Pixeln der "Modulationselement" Strahlkombinatoren, d.h. "Lichtmultiplexmittel", zugeordnet, die die Lichtstrahlen der einzelnen Pixel zu einem einzigen Strahl vereinen.

Gruppe 1a : Das gemeinsame technische Merkmal der Ansprüche 1, 2, 5 ist hierbei die Verwendung von Volumen hologrammen als "Lichtmultiplexmittel".

Gruppe 1b: Das gemeinsame technische Merkmal der Ansprüche 6, 8 ist dabei die Verwendung von Phase und/oder Amplitudenmodulation.

Die Gruppen 1a und 1b sind eigentlich untereinander uneinheitlich, doch beide Gruppen konnten ohne großen zusätzlichen Aufwand zusammen gesucht werden.

2. Ansprüche: 3, 7, 19-23, 25-27(vollständig); 24(teilweise)

Die Ansprüche 3, 7, 19-23, 24 (Erste option), 25-27, 31 (Verwendung von doppelbrechendes Material) beziehen sich auf eine Pixel-basierte "Lichtmodulationseinrichtung" zur Rekonstruktion holographischer Objektlichtpunkte, wobei mehrere Pixel zu einem "Modulationselement" zusammengefasst werden, um die Kodierung komplexer Werte zu erlauben (z.B. Zwei-Phasenkodierung). Zusätzlich werden den Pixeln der "Modulationselement" Strahlkombinatoren, d.h. "Lichtmultiplexmittel", zugeordnet, die die Lichtstrahlen der einzelnen Pixel zu einem einzigen Strahl vereinen. Das gemeinsame technische Merkmal ist hierbei die Verwendung von monolithischen, "doppelbrechenden" Materialien als "Lichtmultiplexmittel".

3. Anspruch: 4

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Der Anspruch 4 bezieht sich auf eine Pixel-basierte "Lichtmodulationseinrichtung" zur Rekonstruktion holographischer Objektlichtpunkte, wobei mehrere Pixel zu einem "Modulationselement" zusammengefasst werden, um die Kodierung komplexer Werte zu erlauben (z.B. Zwei-Phasenkodierung). Zusätzlich werden den Pixeln der "Modulationselement" Strahlkombinatoren, d.h. "Lichtmultiplexmittel", zugeordnet, die die Lichtstrahlen der einzelnen Pixel zu einem einzigen Strahl vereinen. Das besondere technische Merkmal ist hierbei der Einsatz von strukturierten "Polarisationsmitteln", die den einzelnen Pixeln eine bestimmte Polarität aufprägen (z. B. links- oder rechtszirkulär).

4. Ansprüche: 9, 33, 34

Die Ansprüche 9, 33, 34 beziehen sich auf eine Pixel-basierte "Lichtmodulationseinrichtung" zur Rekonstruktion holographischer Objektlichtpunkte, wobei mehrere Pixel zu einem "Modulationselement" zusammengefasst werden, um die Kodierung komplexer Werte zu erlauben (z.B. Zwei-Phasenkodierung). Zusätzlich werden den Pixeln der "Modulationselement" Strahlkombinatoren, d.h. "Lichtmultiplexmittel", zugeordnet, die die Lichtstrahlen der einzelnen Pixel zu einem einzigen Strahl vereinen. Das gemeinsame technische Merkmal ist hierbei der Einsatz von speziellen Blenden bzw. Filtern, z.B. Apodisationsfiltern.

5. Ansprüche: 10-18(vollständig); 24(teilweise)

Die Ansprüche 10-18, 24 (zweite Option: Ablenschichten) beziehen sich auf eine Pixel-basierte "Lichtmodulationseinrichtung" zur Rekonstruktion holographischer Objektlichtpunkte, wobei mehrere Pixel zu einem "Modulationselement" zusammengefasst werden, um die Kodierung komplexer Werte zu erlauben (z.B. Zwei-Phasenkodierung). Zusätzlich werden den Pixeln der "Modulationselement" Strahlkombinatoren, d.h. "Lichtmultiplexmittel", zugeordnet, die die Lichtstrahlen der einzelnen Pixel zu einem einzigen Strahl vereinen. Die gemeinsamen technischen Merkmale sind hierbei die Verwendung einer Anordnung mehrerer "Ablenschichten" mit bestimmten Abständen zwischen den Schichten in Kombination mit strukturierten Polarisationsmitteln als "Lichtmultiplexmittel".

6. Ansprüche: 28-32

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die Ansprüche 28-32 beziehen sich auf eine Pixel-basierte "Lichtmodulationseinrichtung" zur Rekonstruktion holographischer Objektlichtpunkte, wobei mehrere Pixel zu einem "Modulationselement" zusammengefasst werden, um die Kodierung komplexer Werte zu erlauben (z.B. Zwei-Phasenkodierung). Zusätzlich werden den Pixeln der "Modulationselement" Strahlkombinatoren, d.h. "Lichtmultiplexmittel", zugeordnet, die die Lichtstrahlen der einzelnen Pixel zu einem einzigen Strahl vereinen. Das gemeinsame technische Merkmal ist hierbei die Verwendung von Linsen und/oder Prismen als "Lichtmultiplexmittel".

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/058626

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2009050294 A2	23-04-2009	US 2010277779 A1	04-11-2010
US 4547037 A	15-10-1985	KEINE	
US 2005248820 A1	10-11-2005	WO 2005094375 A2	13-10-2005
US 2002181048 A1	05-12-2002	KEINE	
US 2006109876 A1	25-05-2006	KEINE	
US 6859316 B1	22-02-2005	AU 6361300 A	19-02-2001
		WO 0109655 A1	08-02-2001
		US 6282025 B1	28-08-2001
		US 6373631 B1	16-04-2002
		US 6331913 B1	18-12-2001
US 5740288 A	14-04-1998	KEINE	
US 2002168128 A1	14-11-2002	KEINE	
US 6285473 B1	04-09-2001	US 6768573 B1	27-07-2004
US 6630289 B1	07-10-2003	CN 1339715 A	13-03-2002
		CN 1734327 A	15-02-2006
		HK 1046734 A1	15-09-2006
		HK 1091553 A1	09-04-2010
		US 2004008298 A1	15-01-2004
DE 2058418 A1	09-06-1971	BE 759837 A1	03-06-1971
		CA 924895 A1	24-04-1973
		CH 532795 A	15-01-1973
		FR 2074966 A5	08-10-1971
		GB 1335197 A	24-10-1973
		JP 51024261 B	22-07-1976
		NL 6918301 A	08-06-1971
		SE 369970 B	23-09-1974
US 2002131027 A1	19-09-2002	WO 0201289 A1	03-01-2002
		JP 2002014419 A	18-01-2002
		TW 586019 B	01-05-2004
EP 0545524 A1	09-06-1993	JP 5216386 A	27-08-1993
GB 2384318 A	23-07-2003	CN 1432828 A	30-07-2003
		JP 2003337223 A	28-11-2003
		US 2003137626 A1	24-07-2003