

(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
28. Juni 2012 (28.06.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/085045 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G03H 1/22 (2006.01) *H04N 13/04* (2006.01)
G02B 27/22 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/073533
- (22) Internationales Anmeldedatum:
21. Dezember 2011 (21.12.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 063 998.2
22. Dezember 2010 (22.12.2010) DE
10 2011 005 154.6 4. März 2011 (04.03.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SEEREAL TECHNOLOGIES S.A. [LU/LU];
6B, Parc d'Activités Syrdall, L-5365 Munsbach (LU).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KROLL, Bo [DK/GB];
Ilchester Place 11, London, Greater London W148 AA (GB). FÜTTERER, Gerald [DE/DE]; Augsburg Str. 79, 01277 Dresden (DE). LEISTER, Norbert [DE/DE];
Hermannstädter Str. 23, 01279 Dresden (DE). REICHEL, Stephan [DE/DE]; Iglauer Str. 12, 01279 Dresden (DE).
- (74) Anwalt: BRADL, Joachim; SeeReal Technologies GmbH,
Sudhausweg 5, 01099 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, QA, RO, RS, RU, RW, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: COMBINED LIGHT MODULATION DEVICE FOR TRACKING USERS

(54) Bezeichnung : KOMBINIERTE LICHTMODULATIONSVORRICHTUNG ZUR BENUTZERNACHFÜHRUNG

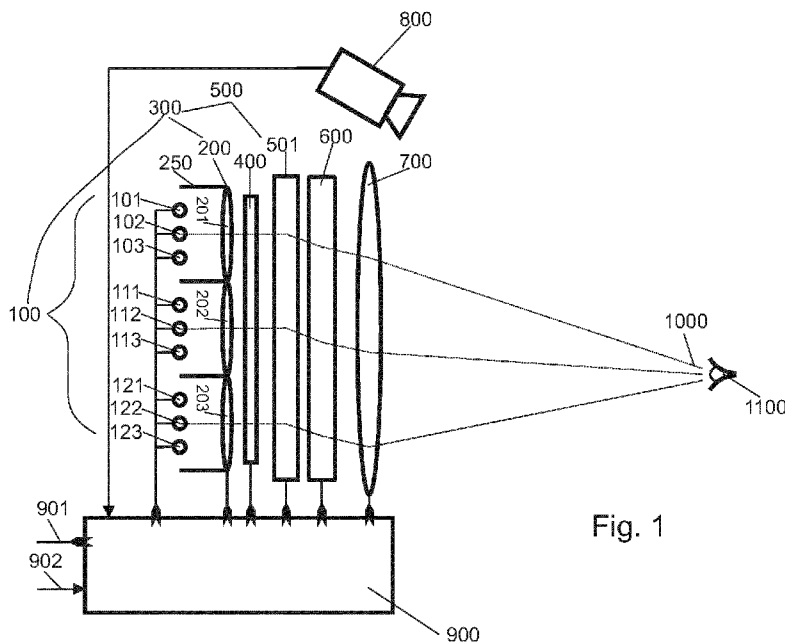


Fig. 1

(57) Abstract: For comfortable viewing of a 3-D scene at various viewing angles, a display having a large tracking range for a variable viewer distance is required. A controllable light-influencing element (500) deflects light in coarse steps in a viewer range. Within said steps, the light is deflected by a further controllable light-influencing element (600) continuously or with fine gradation. The light modulation device is suitable in holographic or autostereoscopic displays for guiding the visibility ranges (1000) of the image information to be displayed so as to follow the eyes (1100) of the viewers.

(57) Zusammenfassung: Für ein komfortables Betrachten einer 3D Szene unter verschiedenen Blickwinkeln wird ein Display mit einem großen Nachführbereich bei einem variablen Betrachterabstand benötigt. Ein steuerbares Lichtbeeinflussungsmittel (500) lenkt Licht in groben Stufen in einem Betrachterbereich ab. Innerhalb dieser Stufen wird das Licht durch ein weiteres steuerbares Lichtbeeinflussungsmittel (600) kontinuierlich oder fein abgestuft abgelenkt. Die

Lichtmodulationsvorrichtung eignet sich in holographischen oder autostereoskopischen Displays zur Nachführung der Sichtbarkeitsbereiche (1000) der anzuzeigenden Bildinformationen auf die Augen (1100) der Betrachter.

WO 2012/085045 A1

GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Kombinierte Lichtmodulationsvorrichtung zur Benutzernachführung

Die Erfindung bezieht sich auf eine kombinierte Lichtmodulationsvorrichtung für ein holographisches oder ein autostereoskopisches Display mit Benutzernachführung.

5 Unter einer kombinierten Lichtmodulationsvorrichtung im Sinne dieser Erfindung wird eine Vorrichtung verstanden, die in einem mehrstufigen Prozess die Eigenschaften und/oder die Richtung von Licht, welches von einer oder mehreren realen oder virtuellen Lichtquellen ausgeht, ändert.

10 Eine virtuelle Lichtquelle ist dabei eine scheinbar an einem Ort befindliche Lichtquelle, die durch die Beeinflussung des Lichtes einer realen Lichtquelle durch in der Regel statische Abbildungsmittel, beispielsweise eines Spiegels, und/oder Strahlbegrenzungsmittel, beispielsweise Blenden, erscheint.

15 Ein holographisches Display im Sinne dieser Anmeldung ist ein Anzeigegerät für dreidimensionale Bilddaten, bei denen die dreidimensionalen Objektdaten der darzustellenden Szene als Beugungsmuster der zu rekonstruierenden Szene eingeschrieben werden. Für die Rekonstruktion einer dreidimensionalen Szene in einem großen Sichtbarkeitsbereich mit hoher Qualität ist sowohl ein großer rechentechnischer Aufwand als auch ein hochauflösender Lichtmodulator erforderlich.

20

Der Anmelder hat deshalb in der Patentschrift DE 103 53 439 B4 ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem die Berechnung der Wellenfront nur für einen kleinen Sichtbarkeitsbereich erfolgt, der im Durchmesser nur wenig größer als der Durchmesser einer Augenpupille eines Betrachterauges ist. Dadurch brauchen die zu rekonstruierenden Objektpunkte jeweils nur in einem kleinen Gebiet
25 des Lichtmodulators in jeweilige Subhologramme kodiert werden.

Dazu wird mit hinreichend kohärentem Licht mindestens einer Lichtquelle mindestens ein Lichtmodulator beleuchtet und mittels einer Feldlinse dieses Licht auf mindestens ein Betrachterauge abgebildet. Durch mit dem Lichtmodulator synchronisiertes wechselseitiges

30 Zuschalten mindestens einer weiteren Lichtquelle kann durch Einkodieren eines zugehörigen Hologramms bzw. der zugehörigen Subhologramme in den Lichtmodulator die Rekonstruktion der dreidimensionalen Szene für das zweite Betrachterauge erzeugt werden. Eine farbige Darstellung ist dabei durch räumliches oder zeitliches Verschachteln (Multiplexing) der Hologramminformationen für die einzelnen Farbkomponenten möglich. Damit sich der Betrachter
35 frei vor dem Display bewegen kann, werden durch separates Einschalten weiterer Lichtquellen die Fokusbereiche den Betrachteraugen nachgeführt. Dazu werden mit Hilfe eines Positionserfassungssystems ständig die Augenkoordinaten eines oder mehrerer Betrachter ermittelt.

Durch Neuberechnung des Beugungsmusters kann dabei die Rekonstruktion der Szene an den neuen Betrachterstandort angepasst werden. Durch zeitliches Verschachteln lassen sich so auch Rekonstruktionen für mehrere Betrachter darstellen.

- 5 Für eine Benutzernachführung entlang des Lichtweges ist es zusätzlich vorteilhaft, die Fokusebene der Fokussiereinheit und damit die Größe des Sichtbarkeitsbereiches an die Augenpositionen der Betrachter anzupassen.

Bei einem autostereoskopischen Display (ASD) mit Benutzernachführung werden in den
10 Lichtmodulator keine Beugungsmuster kodiert, sondern die Szenenansichten für das jeweilige Auge direkt eingeschrieben.

Die Benutzernachführung kann beispielsweise durch direktes oder indirektes Verschieben der Lichtquellen erfolgen. Ein bekanntes Beispiel für ein indirektes Verschieben sind Ablenkspiegel.

15

Zahlreiche weitere Methoden der Benutzernachführung sind bekannt. Diese kann durch Änderung des Lichtweges vor oder hinter dem zur Hologrammkodierung bzw. zur Stereodarstellung genutzten Lichtmodulator erfolgen. Neben mechanischen Methoden sind Verfahren durch Ändern von reflektierenden, beugenden oder brechenden Eigenschaften mittels adaptiver Optiken
20 bekannt.

Es sind auch kombinierte Trackingvarianten bekannt, die über eine feste, aber über die Fläche des Lichtablenkmittels variierende Lichtablenkfunktion verfügen.

- 25 In der Patentanmeldung des Anmelders DE 10 2008 054 438 A1 wird zur Benutzernachführung eine Matrix aus elektrisch steuerbaren Flüssigkeitszellen vorgeschlagen, wobei die Flüssigkeitszellen zusätzliche feste, jedoch über die Fläche der Matrix variierende Lichtablenkmittel aufweisen, um beispielsweise eine Feldlinsenfunktion zu realisieren bzw. zu unterstützen. Diese Lichtablenkmittel können beispielsweise refraktive Elemente wie Prismen oder
30 Linsen aufweisen oder diffraktive Elemente wie Volumengitter oder Blazed-Gitter, d. h. Gitter, die für eine vorgesehene Wellenlänge optimiert sind.

In der Patentanmeldung des Anmelders DE 10 2009 028 626 A1, dessen Offenbarungen hier vollinhaltlich mit einbezogen werden, wird gelehrt, zur Benutzernachführung steuerbare diffraktive
35 Gitter zu verwenden.

Um einen größeren Ablenkwinkel zu erreichen, können dabei diese Gitter auch hintereinander mit gleicher Ablenkrichtung angeordnet werden. Zur zweidimensionalen Ablenkung ist dabei auch ein Hintereinanderschalten mindestens zweier um einen festen Winkel zueinander gedrehter
40 steuerbarer Ablenkmitter möglich. Die diffraktiven Gitter können durch Variation der

eingeschriebenen Gitterperiode über der Fläche der Ablenkeinheit eine örtlich verschiedene Ablenkung realisieren, um eine Feldlinsenfunktion zu erreichen oder zu unterstützen.

5 Für ein ansteuerbares Ablenkgritter, dessen Gitterperiode veränderbar ist, um einen gewünschten Beugungswinkel einzustellen, ergibt sich eine minimal einstellbare Periode aufgrund der räumlichen Auflösung, mit der das Ablenkgritter angesteuert werden kann. Erfolgt beispielsweise das Einstellen der Periode mittels einer rasterförmigen Elektrodenstruktur, so treten herstellungsbedingt Limitierungen für Breite und Abstand der Elektroden auf. Zusätzlich tritt
10 beispielsweise durch elektrische Streufelder oder streuende bzw. beugende Komponenten des Ablenkgritters ein Übersprechen zwischen eingestellten benachbarten Phasenwerten auf. Diese können außerdem zu einer Verringerung der Beugungseffektivität und damit zu störendem Streulicht oder zu Licht in höheren Beugungsordnungen führen.

15 Da für eine gitterförmig ausgebildete Beugungsstruktur der Beugungswinkel umgekehrt proportional zur Periodizität der Beugungsstruktur ist, wird durch den herstellbaren Elektrodenabstand der ansteuerbare Winkelbereich und damit der Nachführbereich für eine einzelne Beugungseinrichtung begrenzt.

20 Für ein komfortables Betrachten einer 3D Szene unter verschiedenen Blickwinkeln wird jedoch ein Display mit einem großen Nachführbereich bei einem variablen Betrachterabstand benötigt. Gesucht wird eine Lösung, die trotz der Beschränkung des Beugungswinkels eines Ablenkelementes einen Nachführbereich erlaubt, der größer als der mit diesem Element erreichbare Beugungswinkel ist.

25 Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Eine Lichtmodulationsvorrichtung für ein holographisches oder ein autostereoskopisches Display zur Anzeige von dreidimensionalen Bildinformationen mit mindestens einer realen oder virtuellen Lichtquelle, mindestens einem Lichtmodulator zum Einkodieren der anzuzeigenden
30 Bildinformationen für mindestens ein Betrachterauge mindestens eines Betrachters, einem ersten und einem zweiten Lichtbeeinflussungsmittel zum Ändern des Lichtweges des von der Lichtquelle ausgesandten Lichtes, einem Augenpositionserkennungssystem zum Erfassen und Verfolgen mindestens einer Augenposition des mindestens einen Betrachters der Bildinformation und einer Systemsteuerung zum Nachführen mindestens eines Sichtbarkeitsbereiches der Bildinformationen
35 anhand der von dem Augenpositionserkennungssystem gelieferten Augenpositionsdaten mit Hilfe des ersten und des zweiten Lichtbeeinflussungsmittels wird durch ein erstes Lichtbeeinflussungsmittel, welches den Sichtbarkeitsbereich innerhalb eines Betrachterbereiches den Augen des Betrachters in groben Stufen nachführt und durch ein zweites Lichtbeeinflussungsmittel, welches den Sichtbarkeitsbereich mindestens im Bereich einer groben
40 Stufe des ersten Lichtbeeinflussungsmittels den Augen des Betrachters mit Hilfe mindestens eines

elektrisch ansteuerbarer Beugungsgitter fein abgestuft oder kontinuierlich nachführt, gekennzeichnet.

5 Die Systemsteuerung wählt dabei diejenige Ablenkrichtung des ersten Lichtbeeinflussungsmittels aus, die der momentan ausgewählten Augenposition des ausgewählten Betrachters am nächsten kommt und stellt diese im ersten Lichtbeeinflussungsmittel ein. Der Differenzwinkel zwischen diesem Ablenkwinkel und der tatsächlichen ausgewählten Augenposition wird zeitgleich oder zeitnah von der Systemsteuerung berechnet und im zweiten Lichtbeeinflussungsmittel eingestellt.

10 Beide Augen eines ausgewählten Betrachters können im Zeitmultiplexbetrieb von der Systemsteuerung bedient werden, wobei das Augenpositionserkennungssystem die dafür notwendigen Augenpositionsdaten liefert.

15 Für eine 3D – Darstellung wird dafür von der Systemsteuerung der darzustellende Bildinhalt, d. h. die jeweilige Stereoansicht bzw. das inkodierte Hologramm, an das jeweilige rechte bzw. linke Auge angepasst. Das Augenerkennungssystem kann auch zusätzlich als System zur Erkennung der Blickrichtung ausgestaltet werden, um z.B. in einem System mit großem möglichem Blickwinkel nur die Teile einer Szene zu rekonstruieren, auf die der Betrachter schaut.

20 Mehrere Betrachter können ebenfalls im Zeitmultiplexbetrieb bedient werden, was allerdings schnelle Lichtmodulatoren und schnelle Lichtbeeinflussungsmittel erfordert.

25 Für eine flimmerfreie Darstellung ist dabei für jede Ansicht des Zeitmultiplexbetriebes eine Bildwiederholrate von mindestens 60 Bildern pro Sekunde erforderlich. Bei einem gleichzeitigen Zeitmultiplexbetrieb der drei Farbkomponenten und der beiden Augen jedes Betrachters bezieht sich dieser Wert auf die Ansicht eines Farbkanals für ein Auge eines Betrachters.

30 Besonders bei einem Projektionssystem ist es möglich, für jedes Betrachterauge ein eigenes Ablenssystem zu verwenden, das über ein Strahlvereinigungssystem eine gleichzeitige Darstellung der Bildinhalte für beide Betrachteraugen ermöglicht.

35 Durch Anpassen des darzustellenden Bildinhaltes durch die Systemsteuerung an die jeweilige Betrachterposition ist es möglich, dass sich der Betrachter beim Bewegen des Kopfes innerhalb des Sichtbarkeitsbereiches des Displays scheinbar um die darzustellenden Bildinhalte herumbewegt, wobei dieser Effekt auch künstlich überhöht oder verringert werden kann.

Da sich achromatische diffraktive Strahlablensysteme nur mit hohem Aufwand herstellen lassen, erfolgt eine Farbdarstellung in einer bevorzugten Ausgestaltungsvariante ebenfalls im Zeitmultiplexbetrieb der einzelnen Farbanteile.

Je nach Ausgestaltung der Lichtmodulationsvorrichtung kann sich das zweite Lichtbeeinflussungsmittel mit den steuerbaren Lichtablenkgittern vor oder hinter dem ersten Lichtbeeinflussungsmittel zur grobstufigen Lichtablenkung befinden. Ein Lichtbeeinflussungsmittel zur grobstufigen Lichtablenkung, welches feste Eintrittswinkel für seine Funktion benötigt, wie es z. B. Volumengitter zur diffraktiven Strahlablenkung darstellen, wird in vorteilhafter Weise vor dem zweiten Lichtbeeinflussungsmittel angeordnet.

Ein oder beide Lichtbeeinflussungsmittel können vor oder hinter dem Lichtmodulator angeordnet sein.

Sie können für einen transmissiven, einen emissiven oder einen reflektiven Lichtmodulator ausgelegt sein.

Ein transmissiver oder reflektiver Lichtmodulator wird in Verbindung mit einer Beleuchtungsvorrichtung eingesetzt, wobei diese in der Regel kollimiertes Licht erzeugt, mit welchem der Lichtmodulator beleuchtet wird.

Beispiele für transmissive Modulatoren sind Flüssigkristallmodulatoren auf einem transparenten Substrat mit einer Vielzahl von in Zeilen und Spalten angeordneten steuerbaren Flüssigkristallzellen oder Modulatoren auf der Basis von Elektrobenetzungszellen.

Als reflektive Modulatoren sind beispielsweise Flüssigkristallmodulatoren auf einem reflektiven Substrat (z.B. LCOS - Liquid Crystal on Silicon) oder Mikrospiegelanordnungen (DMD - Digital Micromirror Device) als schnelle Lichtmodulatoren geeignet.

Bei einem transmissiven oder reflektiven Lichtmodulator können das erste und/oder das zweite Lichtbeeinflussungsmittel bzw. Teile davon in die Beleuchtungsvorrichtung integriert werden.

Handelt es sich beispielsweise beim Lichtmodulator um einen Phasenmodulator zum Einkodieren komplexwertiger Hologrammwerte in jeweils zwei (Zweiphasenkodierung) oder mehrere Phasenpixel des Modulators, bei denen anschließend die zusammen gehörenden Phasenwerte in einer Strahlvereinigungsoptik zu einem Intensitätswert mit definierten Amplituden- und Phasenwert kombiniert werden, so ist es vorteilhaft, beide Lichtbeeinflussungsmittel hinter dem Lichtmodulator anzuordnen, wenn die Strahlvereinigungsoptik eine definierte Durchstrahlrichtung erfordert.

Eine solche Strahlvereinigungsoptik wird beispielsweise in der noch nicht veröffentlichten deutschen Patentanmeldung DE 10 2009 044 910.8 vorgeschlagen.

Bei einem autostereoskopischen Display mit einem weitestgehend richtungsunabhängigen Amplitudenmodulator oder einem holographischen Display mit einem weitestgehend

richtungsunabhängigen komplexwertigen Modulator kann es jedoch vorteilhaft sein, eine oder beide Lichtbeeinflussungsmittel teilweise oder ganz in die Beleuchtungsvorrichtung des Lichtmodulators zu integrieren.

- 5 Verbleibende richtungsabhängige Intensitätsabhängigkeiten können vorteilhaft von der Systemsteuerung beim Kodieren der Bildinformationen berücksichtigt werden, so dass diese Abhängigkeiten kompensierbar sind.

10 Emissive Lichtmodulatoren, wie beispielsweise Elektrolumineszenzdisplays oder Plasmasdisplays, benötigen keine Beleuchtungsvorrichtung, da sie selbst als Lichtquelle dienen. Da ihre einzelnen Pixel zueinander inkohärent sind, werden sie bevorzugt in autostereoskopischen Displays als Lichtmodulator eingesetzt.

15 In holographischen Displays ist ihre Verwendung als schaltbare Lichtquelle in der Kombination mit einer Kollimationsoptik der Beleuchtungsvorrichtung eines transmissiven Displays einsetzbar, wenn die Ausdehnung eines Pixels klein genug ist, um eine hinreichende Kohärenzlänge zu besitzen.

20 Durch die beiden Lichtbeeinflussungsmittel werden mit Hilfe der Systemsteuerung die Strahlrichtungen der Lichtquellen so gewählt, dass die für die momentan anzuzeigende Information eines Betrachterauges im Sichtbarkeitsbereich dieses Auges liegt.

25 Je nach Ausgestaltung und Kodierungsart kann dabei der Lichtweg nur in horizontaler oder in horizontaler und vertikaler Richtung geändert werden.

Ein Nachführen des Sichtbarkeitsbereiches nur in horizontaler Richtung vereinfacht stark den Aufbau, da nur Lichtbeeinflussungsmittel benötigt werden, die den Lichtweg in eine Richtung ändern können.

30 Bei einem holographischen Display ist der Rechenaufwand für die Hologrammberechnung bei einer eindimensionalen Kodierung erheblich gegenüber einer zweidimensionalen Kodierung reduziert.

35 Bei eindimensionaler Betrachternachführung kann mit linienförmigen reellen oder virtuellen Lichtquellen gearbeitet werden. Diese könne beispielsweise Displayspalten eines emissiven Displays mit vorgeschalteter Kollimationsoptik in Form von Zylinderlinsenarrays sein. Bei autostereoskopischen Displays wird häufig nur eine horizontale Betrachternachführung realisiert.

40 Durch Ändern der Position einer reellen oder virtuellen Lichtquelle vor einer Kollimationsoptik in horizontaler oder vertikaler Richtung kann die Richtung des kollimierten Beleuchtungsstrahlenbündels in horizontaler oder vertikaler Richtung geändert werden. Dies kann

beispielsweise durch Einschalten bzw. Steuern der Helligkeit einzelner Lichtpunkte oder Lichtpunktbereiche einer hoch aufgelösten Lichtquellenmatrix in Verbindung mit einem vorgeschalteten Feld aus Kollimationsoptiken, beispielsweise einem Linsenarray, realisiert werden.

5

Für eine eindimensionale Ablenkung können Beleuchtungsstreifen in Verbindung mit einem Zylinderlinsenarray eingesetzt werden.

Eine Ablenkung der Lichtpunkte oder Lichtstreifen kann auch mechanische oder durch abtastende (scannende) Verfahren realisiert werden.

10

Durch Verschieben der Lichtquellen in Richtung der optischen Achse der zugehörigen Kollimationsoptik lässt sich die Größe des Lichtflecks in der Betrachterebene einstellen. Dies kann auch durch eine Kollimationsoptik erreicht werden, deren Brechkraft variabel ist und entsprechend gesteuert werden kann.

15

Ein Lichtbeeinflussungsmittel, welches ein Lichtquellenarray mit verschiebbaren Lichtquellen und eine zugehörige Kollimationsoptik aufweist, kann zugleich als Teil der Beleuchtungsvorrichtung bei Verwendung eines transmissiven Modulators dienen.

20

Durch Steuern der Helligkeit einzelner Lichtquellenpunkte können Fehler des optischen Systems kompensiert werden.

Besitzen einzelne Lichtpunkte der steuerbaren Lichtquellenmatrix einen deutlichen Abstand zueinander, lässt sich damit der Sichtbarkeitsbereich in groben Stufen nachführen. Der mittlere Ablenkwinkel α für eine Lichtquelle, welche sich im Abstand l von der objektseitigen Hauptebene und im Abstand a von der optischen Achse der Kollimationsoptik befindet, beträgt dabei:

25

$$\alpha = \arctan (a / l).$$

30

So weist beispielsweise der Mittelpunktstrahl einer Lichtquelle, welche sich 10mm vor der objektseitigen Hauptebenen der Kollimationsoptik befindet und einen Seitenversatz von 2mm gegenüber deren optischen Achse hat, eine Strahlneigung von 11,3 Grad gegenüber der optischen Achse auf.

35

Wie bereits gezeigt, kann ein Lichtbeeinflussungsmittel aus mehreren einzelnen Komponenten aufgebaut sein. Das erste und/oder das zweite Lichtbeeinflussungsmittel der Lichtmodulationsvorrichtung kann aus mehreren Lichtbeeinflussungselementen zusammengesetzt sein, mit welchen unabhängig voneinander die Strahlrichtung und/oder die Position der reellen oder virtuellen Lichtquellen änderbar sind.

40

So lassen sich mehrere elektrisch steuerbare Ablenkmitter mit gleicher Ablenkrichtung teilweise oder vollständig in eine Reihe schalten, um den erreichbaren Ablenkwinkel zu vergrößern oder einen separaten Ablenkbereich zu realisieren. Für eine zweidimensionale Ablenkung lassen sich eindimensional ablenkende Lichtbeeinflussungselemente zu einem Lichtbeeinflussungsmittel
5 zusammenschalten. Dies kann beispielsweise in einer gekreuzten Anordnung erfolgen.

Die einzelnen Lichtbeeinflussungselemente eines Lichtbeeinflussungsmittels können dabei auch auf unterschiedlichen physikalischen Wirkprinzipien beruhen.

10 Die Systemsteuerung berücksichtigt die Ablenkeigenschaften jedes einzelnen Elementes, wobei es möglich ist, Fehler, die in einem Element entstehen, in einem oder mehreren weiteren Elementen zu kompensieren.

Durch Ändern der Größe der Positionsänderung des Lichts der Lichtquelle und/oder der Größe
15 der Strahlrichtungsänderung im ersten und/oder im zweiten Lichtbeeinflussungsmittel in Abhängigkeit des Auftreffortes des Lichtes auf die Fläche des Lichtbeeinflussungsmittels lässt sich eine Feldlinsenfunktion zum Festlegen der Größe des Sichtbarkeitsbereiches in der Betrachterebene realisieren oder die Wirkung einer separaten Feldlinse beeinflussen.

20 Durch Steuern dieser Positions- bzw. Strahlrichtungsänderung über der Fläche eines oder mehrerer Lichtbeeinflussungsmittel durch die Systemsteuerung kann die Größe des Sichtbarkeitsbereiches variabel geändert werden und damit z.B. diese Größe an einen geänderten Betrachterabstand zum Display angepasst werden, so dass der Sichtbarkeitsbereich größer als der Pupillendurchmesser bleibt aber kleiner als der Augenabstand ist.

25 Dazu wertet die Systemsteuerung die von dem Augenerfassungssystem gelieferten Positions- bzw. Abstandsdaten aus und stellt die berechneten Winkeländerungen in den zugehörigen Lichtbeeinflussungsmitteln zusätzlich zu den lateralen Winkeln, welche die Position des Sichtbarkeitsbereiches in der Betrachterebene festlegen, ein.

30 Die Strahlrichtungsänderung im Lichtbeeinflussungsmittel für die grobe Nachführung des Sichtbarkeitsbereiches kann sowohl diffraktive als auch refraktive Lichtbeeinflussungselemente enthalten.

35 In einer Ausgestaltungsvariante mit fester Lichtquellenmatrix weisen die einzelnen Linsen der Kollimationsoptik eine steuerbare Linsenwirkung auf, so dass sich die Brennweite und/oder der laterale Ort des Linsenscheitels ändern lässt. Eine solche steuerbare Linse auf der Basis einer Elektrobenetzungszelle ist beispielsweise im europäischen Patent EP 1579249 B1 beschrieben.

40 Für eine grob abgestufte Strahlableitung lassen sich im ersten Lichtbeeinflussungsmittel vorteilhaft Volumengitter einsetzen, in die mindestens zwei Hologramme eingeschrieben sind.

Durch Einbelichten der Hologramme mit den gewünschten Ein- und Austrittsverteilungen mit der jeweiligen Arbeitswellenlänge lässt sich das erforderliche Volumengitter oder eine Vorlage für weitere Kopien herstellen. Das Einbelichten der Hologramme kann auch in einem optischen System erfolgen, welches dem Einsatzsystem im Wesentlichen entspricht oder in diesem enthalten ist (In-Situ Belichtung), um Bildfehler beteiligter optischer Komponenten möglichst vollständig zu kompensieren.

Volumengitter können für sehr enge Eintrittswinkel, die sich nur wenig voneinander unterscheiden, und/oder für schmale Wellenlängenbereiche optimiert werden. Dabei lassen sich hohe Beugungseffektivitäten von annähernd 100% für Phasenhologramme erreichen. Die Volumengitter wirken dabei als Winkelfilter, d.h. nur Licht eines schmalen Winkelbereiches wird in die gewünschte Richtung gebeugt, und/oder als Wellenlängenfilter, wobei nur Licht eines ausgewählten Wellenlängenbereiches in die gewünschte Richtung gebeugt wird. Licht anderer Winkel bzw. Wellenlängen tritt ungebeugt durch das Volumengitter.

Damit beim Lichtdurchtritt durch das Volumengitter nur eine Beugungsordnung, d.h. beispielsweise die erste, zweite oder eine höhere Beugungsordnung auftritt, muss die Bragg-Bedingung eingehalten und die Brechungsindexmodulation entsprechend gewählt werden. Weicht die Brechungsindexmodulation vom Optimum ab, so ist – auch unter Einhaltung der Bragg-Bedingung - ein ungebeugter Anteil des Lichtes, d.h. eine nullte Beugungsordnung, vorhanden.

Je nach Dicke des Volumengitters und dem maximal möglichen Brechzahlunterschied kann es dabei notwendig sein, das Gitter so zu beleuchten, dass Vielstrahlinterferenz auftritt, d. h. dass von den einzelnen Lichtstrahlen genügend viele Gitterebenen durchlaufen werden. Das bedeutet, dass der minimale erzeugte Beugungswinkel nicht zu klein ist, beispielsweise 30 Grad. Dies kann durch schräges Beleuchten des Volumengitters erreicht werden. Durch ein weiteres vorgeschaltetes Volumengitter kann eine notwendige Vorablenkung erzeugt werden, wenn dies die geometrischen Verhältnisse erfordern.

Je dicker das Volumengitter ausgeführt ist, umso größer ist seine selektive Wirkung.

Die Beugungsprozesse an Volumengittern wurden von Kogelnik mit Hilfe der Theorie gekoppelter Wellen beschrieben (H. Kogelnik, "Coupled Wave Theory for Thick Hologram Gratings", Bell Syst. Techn. J. 48 (1969) 2909-2947). Dick ist ein Volumengitter, wenn sein Q-Faktor:

$$Q = 2\pi d \Lambda / (n_0 \Lambda^2)$$

größer 10 ist. Dabei ist d die Dicke des Volumengitters, λ die Arbeitswellenlänge des Lichtes im Vakuum, Λ die Gitterkonstante des Volumengitters und n_0 die mittlere Brechkraft.

An Stelle eines Volumengitters, das für mehrere Eintrittswinkel und/oder mehrere Wellenlängen optimiert ist, können mehrere Volumengitter mit geringerem Funktionsumfang hintereinander geschaltet werden, d.h. jedes Volumengitter lenkt das Licht in eine andere Richtung ab bzw. fokussiert es an einen anderen Ort.

5

Neben verschiedenen Austrittswinkeln können vorteilhaft bei der Herstellung zusätzliche Feldlinsenfunktionen in das Volumengitter einbelichtet werden, die den Durchmesser des Sichtbarkeitsbereiches in der Betrachterebene eingrenzen.

10

Allgemein können durch Winkelmultiplex beliebige unterschiedliche Wellenfelder rekonstruiert werden. Dies entspricht dem Prinzip der holographischen Rekonstruktion. So können auch Feldlinsen mit unterschiedlichen Brennweiten rekonstruiert werden. So kann es auch vorteilhaft sein, sich in unterschiedliche Richtungen ausbreitende Planwellen zu rekonstruieren, wenn z. B. eine separate Feldlinse vorhanden ist.

15

Die Foki der Feldlinsen, die von Lichtverteilungen mit unterschiedlichen Eingangswinkeln erzeugt werden, müssen dabei nicht in derselben Ebene wie diese liegen. So könnte beispielsweise auch aus Lichtverteilungen mit unterschiedlichen vertikalen Eingangswinkeln eine Serie von Feldlinsen erzeugt werden, deren Foki sich z.B. in horizontaler Richtung, in horizontaler und vertikaler

20

Richtung oder in horizontaler Richtung, in vertikaler Richtung sowie in der Brennebene unterscheiden.

Um eine Feldlinsenfunktion zu erzeugen oder zu unterstützen ist es möglich, das Volumenhologramm in mindestens zwei nebeneinander angeordnete Teilhologramme zu zerlegen, die jedes für sich der Bragg-Bedingung mit leicht unterschiedlichem Austrittswinkel genügt, d. h. das Volumengitter wird segmentiert. Die Herstellung und Wirkungsweise solcher Volumenhologramme ist -für sich gesehen- beispielsweise aus den deutschen Patenten DE 19 700 162 B4 oder DE 19 704 740 B4 bekannt.

25

30

Zum Selektieren der einzelnen in das Volumenhologramm eingeschriebenen Richtungen kann mindestens eine horizontale und/oder vertikale Verschiebeeinheit vorhanden sein, die das Licht der Lichtquellen steuerbar so beeinflusst, dass der Auftreffwinkel und/oder der Auftreffort auf das Volumenhologramm änderbar sind. Diese Einheit kann dabei beispielsweise Bestandteil einer Hintergrundbeleuchtungsvorrichtung bei einem transparenten Lichtmodulator oder einer Vorderseitenbeleuchtungsvorrichtung bei einem reflektiven Lichtmodulator sein. Die notwendige Verschiebung und/oder Verkipfung wird dabei von der Systemsteuerung anhand der ermittelten ausgewählten Augenposition eingestellt. Sie kann auf bekannte Weise mit mechanischen, reflektiven, refraktiven oder diffraktiven Methoden erfolgen. Bei Verwendung einer flachen Beleuchtungsvorrichtung kann beispielsweise der Einkoppelwinkel in einen flächenhaften

35

40

Wellenleiter variiert werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltungsvariante verwendet für jeden Wellenlängenbereich, also z.B. für den roten, den grünen oder den blauen Spektralbereich, mehrere schmalbandige Lichtquellen, die sich nur wenig in ihrer Schwerpunktwellenlänge unterscheiden und die selektiv von der Systemsteuerung ausgewählt und aktiviert werden, um die einzelnen Beugungswinkel in dem mindestens einen Volumengitter auszuwählen bzw. zu adressieren. Für solche Lichtquellen können bevorzugt Laser, beispielsweise Halbleiterlaser, oder schmalbandige Leuchtdioden eingesetzt werden.

Die Systemsteuerung kann dabei, je nach den ausgewählten schmalbandigen Spektralbereichen, eine Farbkorrektur der anzuzeigenden Information vornehmen.

Beide Verfahren können miteinander kombiniert werden, so dass in das mindestens eine Volumen hologramm Beugungsgitter für unterschiedliche Einfallswinkel und für unterschiedliche, eng benachbarte Wellenlängen eingeschrieben werden.

In einer weiteren Ausgestaltung wird zur grob abgestuften Änderung der Strahlrichtung in dem ersten Lichtbeeinflussungsmittel mindestens ein durch die Systemsteuerung schaltbarer Polarisator in Verbindung mit mindestens einer doppelbrechenden Linse eingesetzt. Ein solches System ist beispielsweise aus der WO 03 015 424 A2 für die 2D/3D Umschaltung in einem autostereoskopischen Display bekannt.

Ein doppelbrechendes Material, beispielsweise eine Flüssigkristallmischung, wird dabei zwischen zwei Grenzflächen zweier transparenter Medien, die als Substrat dienen, angeordnet. Dabei ist mindestens eine Grenzfläche partiell gekrümmt, um eine Linsenwirkung zu erzielen, und/oder partiell gegenüber der anderen geneigt, um eine Keilwirkung zu erreichen.

Durch Auswahl einer von zwei möglichen Polarisationsrichtungen durch den schaltbaren Polarisator, lässt sich mit Hilfe der Systemsteuerung eine von zwei möglichen Linsen- und/oder Ablenkwirkungen auswählen. Die Stärke der Linsenwirkung und/oder des Keilwinkels kann über der Fläche der Ablenk- und/oder Fokussiereinheit variieren. Ebenso ist es möglich, den schaltbaren Polarisator segmentiert auszuführen, um die beiden Polarisationsrichtungen örtlich variabel auszuwählen.

Der schaltbare Polarisator kann beispielsweise als variable Verzögerungsplatte mit Hilfe eines elektrisch steuerbaren doppelbrechenden Materials, welches beispielsweise ebenfalls aus einer Flüssigkristallmischung bestehen kann, gebildet werden. Dabei wird das doppelbrechende Material zwischen zwei Substraten eingebettet, die mit geeigneten Elektrodenstrukturen versehen sind. Auch hier ist es möglich, mehrere solche Lichtbeeinflussungselemente hintereinander zu schalten, um die Gesamtwirkung im Lichtbeeinflussungsmittel zu erhöhen.

An Stelle eines schaltbaren Polarisators und eines festen doppelbrechenden Lichtbeeinflussungselementes können auch schaltbare doppelbrechende Lichtbeeinflussungselemente verwendet werden. Bei einer solchen Einrichtung, wie sie z. B. für die 2D / 3D – Umschaltung in autostereoskopischen Displays in der WO 2007 / 007 285 A2 vorgeschlagen wird, kann die Anzahl der erforderlichen Substrate gegenüber der vorgenannten Lösung reduziert werden. Auch diese Lichtbeeinflussungselemente können segmentiert und/oder hintereinander angeordnet werden.

Durch geeignete Elektrodenstrukturen lassen sich so auch planare Lichtbeeinflussungselemente herstellen, bei denen durch Anlegung geeigneter elektrischer Feldverteilungen ein steuerbarer Gradientenindexverlauf der Brechzahl erzeugt werden kann, mit dem sich die Lichttrichtung beeinflussen lässt.

In weiteren Ausgestaltungsvarianten wird zur Lichtbeeinflussung mindestens ein Polarisationsgitter verwendet. Bei einem solchen Gitter existieren nur die -1. die 0. und die +1. Beugungsordnung. Durch Verwendung von einfallendem zirkular polarisiertem Licht ist es dabei möglich, annähernd 100 % des Lichtes je nach Drehsinn der zirkularen Polarisation nur in die +1. oder nur in die -1. Beugungsordnung abzulenken.

Bekannt sind sowohl aktiv schaltbare Polarisationsgitter als auch passive Polarisationsgitter. Die Herstellung von Polarisationsgittern kann durch Ausrichtung von Flüssigkristallen an entsprechend präparierten Oberflächen erfolgen. Solche Oberflächen, die als strukturierte Ausrichtungsschichten (alignment layer) für die Flüssigkristalle wirken, können beispielsweise durch Auspolymerisieren von linear photopolymerisierbaren Polymeren (LPP – linear photopolymerizable polymer) erzeugt werden. Dazu werden die Schichten beispielsweise mit Interferenzmustern von zirkular polarisiertem ultraviolettem Licht, z. B. von einem UV Laser, entsprechend ausgebildet.

Ohne oder bei geringer Spannung an einer Elektrodenstruktur bilden die aktiven Polarisationsgitter eine periodische Gitterstruktur und können je nach Drehrichtung des einfallenden zirkular polarisierten Lichtes in die +1. bzw. in die -1. Beugungsordnung mit hohem Beugungswirkungsgrad ablenken. Mit genügend hoher Spannung können die Flüssigkristalle so ausgerichtet werden, dass die Gitterstruktur zerstört wird, so dass das einfallende Licht in der 0. Beugungsordnung unabgelenkt durch ein solches Lichtbeeinflussungselement hindurch tritt.

Passive Gitter können zum Beispiel durch Auspolymerisieren von Flüssigkristallpolymeren (LCP – liquid-crystal polymer) gebildet werden. Sowohl aktive als auch passive Polarisationsgitter lassen sich in Kombination mit einem schaltbaren Polarisator, beispielsweise einer schaltbaren Verzögerungsplatte, verwenden, um die gewünschte Beugungsordnung auszuwählen. Bei einem aktiven Polarisationsgitter steuert die Systemsteuerung sowohl den schaltbaren Polarisator als auch das steuerbare Gitter, um die gewünschte Beugungsrichtung auszuwählen. Bei einem passiven Gitter wird dazu nur der schaltbare Polarisator angesteuert. Es ist möglich, mehrere

Kombinationen aus schaltbaren Polarisatoren und Polarisationsgittern als Lichtbeeinflussungselemente hintereinander zu schalten. Die Gitterkonstante des Polarisationsgitters kann über der Lichteintrittsfläche variiert werden, um eine örtlich verschiedene Ablenkung zu erzielen. Diese Variation kann kontinuierlich oder segmentiert erfolgen. Dadurch
5 kann z. B. eine Feldlinsenfunktion realisiert oder unterstützt werden. Es können beispielsweise auch Zylinderlinsen oder gekreuzte Zylinderlinsen implementiert werden.

Um den jeweils geeigneten Beugungswinkel durch die Systemsteuerung auszuwählen, kann der flächenhafte schaltbare Polarisator ebenfalls strukturiert ausgeführt werden.

10 Wird das Gitter in Kombination mit anderen Lichtblenkelementen eingesetzt, beispielsweise einer vorgesetzten Feldlinse und/oder anderen Lichtbeeinflussungselementen, muss das Gitter lokal für einen entsprechend schrägen Lichteinfall optimiert werden. Dies kann bei einem aktiven Polarisationsgitter durch eine örtliche Anpassung der Ansteuerspannung und damit der effektiven
15 Doppelbrechung erfolgen.

Bei passiven Polarisationsgittern muss das zur Herstellung verwendete Hologramm eine örtliche Variation der Gitterperiode aufweisen.

20 Bei einem einfachen Polarisationsgitter ist der Ablenkungswinkel von der Wellenlänge abhängig. In einem Farbdisplay, bei dem die einzelnen Farbkomponenten in einem Zeitmultiplexbetrieb erzeugt werden, muss diese Winkeldifferenz durch die Systemsteuerung in weiteren steuerbaren Ablenkelementen ausgeglichen werden.

25 Aus der WO 2008 / 130 561 A1 sind z. B. auch Mehrschichtsysteme passiver Polarisationsgitter bekannt, bei dem der Ablenkungswinkel über einen breiten Spektralbereich nahezu konstant bleibt.

In einer weiteren Ausgestaltungsvariante werden zur groben Lichtablenkung diffraktive Gitter eingesetzt, deren Gitterperiode sich durch Ändern der an einer Flüssigkristallzelle angelegten
30 Spannung ändern lässt. Ein solches System ist beispielsweise in der US 6 188 462 B1 beschrieben. Durch Variation der angelegten Spannung über der Gitterfläche kann auch hier ein örtlich unterschiedlicher Ablenkungswinkel durch die Systemsteuerung variabel eingestellt werden.

Für die grobe Lichtablenkung lassen sich auch vorteilhaft diffraktive Phasengitter einsetzen, wie
35 sie für die kontinuierliche Ablenkung im zweiten Lichtbeeinflussungsmittel vorgesehen sind. Bei diesen Gittern werden die Gitterperioden und damit die Größe des Ablenkungswinkels durch Anlegen eines sägezahnförmigen Spannungsprofils an einer feinen Elektrodenstruktur eingestellt, d.h., die Ansteuerspannung steigt von Elektrode zu Elektrode innerhalb einer gewünschten bzw. vorgegebenen Gitterperiode von einem Grundwert zu einem Maximalwert an. Der Maximalwert
40 bestimmt dabei die maximale Phasenänderung des an der Flüssigkristallschicht modulierten Lichtes. Das Spannungsprofil muss dabei nicht streng sägezahnförmig verlaufen, sondern sollte

die Kennlinie des Spannungs-Phasenverlaufes berücksichtigen, um ein sägezahnförmiges Phasenprofil zu erhalten. Die kleinste mögliche Gitterperiode und damit der größte mögliche Ablenkwinkel wird durch das Elektrodenraster bestimmt. Da sich sehr feine Raster mit wenigen Mikrometern bis einigen hundert Nanometern Rasterperiode besonders bei großflächigen Ablenkgeräten nur schwer ansteuern lassen, können für das Ablenkgerät zur groben Ablenkung Elektroden zusammengefasst werden und mit einem gemeinsamen Signal beaufschlagt werden, wenn deren Abstand größer ist, als es der Gitterperiode für den größten möglichen Ablenkwinkel bei dem Ablenkgerät für die feinstufige Ablenkung entspricht. So kann beispielsweise das Ablenkgerät für die feinstufige Ablenkung eine Periode der Elektroden von einigen Mikrometern aufweisen, bei denen sich jede Elektrode individuell ansteuern lässt, und das Ablenkgerät für die grobstufige Ablenkung aus einem Gitter mit einem Elektrodenabstand unter einem Mikrometer bestehen, bei dem jeweils Elektroden nach einer größeren Strecke zusammengefasst sind, als es dem Elektrodenraster des feinstufigen Gitters entspricht.

Das Zusammenfassen der Elektroden kann dabei über die Fläche des Ablenkgeräts segmentiert werden. Es ist auch möglich, das Elektrodenraster über die Gitterfläche zu variieren, um z. B. am Gitterrand durch ein feineres Elektrodenraster einen größeren dort benötigten Ablenkwinkel zu ermöglichen.

Zur Strahlablenkung von Lichtbündeln mit geringem Querschnitt, wie sie in der Beleuchtungsvorrichtung von Lichtquellen mit kleiner Ausdehnung direkt oder nach einer entsprechenden Strahlformung ausgesendet werden, lassen sich vorteilhaft weitere Lichtablenkelemente in einer transmissiven oder reflektiven Betriebsweise einsetzen. So erlauben akustooptische Modulatoren (AOM) eine Strahlablenkung mit hoher Geschwindigkeit. Dabei kann der Ablenkwinkel durch Variation der Ansteuerfrequenz geändert werden. Die Beugungseffektivität lässt sich durch die Höhe der Ansteuerspannung beeinflussen. Es sind auch AOM's bekannt, die über mehrere Schallwandler verfügen, die mit phasenverschobenen Signalen angesteuert werden können. Dadurch kann das effektive Phasengitter im AOM in Abhängigkeit von der Phasenlage geneigt und so an sich ändernde Austrittswinkel angepasst werden, damit beim gleichen Eintrittswinkel die Bragg-Bedingung weitestgehend erfüllt wird, um eine hohe Beugungseffektivität für einen breiten Ausgangswinkelbereich und einen breiten Arbeitswellenlängenbereich zu erhalten. Ein solcher Modulator ist beispielsweise aus der US 5 576 880 bekannt. Da mit einem AOM nur kleine Ablenkwinkel erzeugt werden können, kann zur Vergrößerung des Winkelbereiches ein Volumengitter mit mehreren einkodierten Austrittswinkeln bzw. ein entsprechender Volumengitterstapel aus Einzelgittern mit jeweils unterschiedlichen Austrittswinkeln bei Eintrittswinkeln, die sich nur wenig unterscheiden, nachgeschaltet werden. Eine solche Anordnung ist beispielsweise aus der US 3 980 389 bekannt.

Alle optischen Grenzflächen der Lichtbeeinflussungsmittel bzw. Lichtbeeinflussungselemente sollten vorteilhafter Weise mit Antireflexionsschichten zur Vermeidung von Streulicht versehen

werden. Diese können auf bekannte Weise je nach Anwendung spektral und/oder im Winkel schmal- oder breitbandig ausgeführt werden.

Im optischen Strahlengang können geeignete Blenden zum Ausfiltern von nicht benötigten Beugungsordnungen und/oder Streulicht enthalten sein. Auch ist der Einsatz zusätzlicher Mittel zur Wellenfrontformung, wie beispielsweise Apodisationsmasken, möglich.

Weitere mögliche Maßnahmen zur Optimierung und speziellen Ausgestaltung des Verfahrens, wie beispielsweise der Einsatz von Lookup-Tabellen zur schnellen Berechnung der Einstellparameter für die Ablenkwinkel, das Verwenden gemeinsamer Substrate beim Mehrschichtaufbau von Lichtblenkelementen, Maßnahmen zur Kalibrierung, zur Fehlerkompensation, zur Kompensation eines Temperatureinflusses, zur Kompensation von Alterungserscheinungen oder zur Ausgestaltung der Ansteuerschaltungen und Elektrodenstrukturen sind Bestandteil dieser Erfindung und werden nicht näher erläutert, da diese Maßnahmen einem Fachmann in Kenntnis der hier beschriebenen erfindungsgemäßen Lehre bekannt sind. Sämtliche steuerbaren Komponenten können mit Hilfe geeigneter zusätzlicher Messeinrichtungen auch als regelbare Komponenten ausgestaltet werden.

Anstelle elektrisch ansteuerbarer Beugungsgitter können für die kontinuierliche Betrachternachführung auch andere bekannte Lichtblenkelemente verwendet werden.

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 Zeichnungen zu verweisen. In den Zeichnungen zeigen (jeweils in einer schematischen Darstellung)

Fig. 1 eine erste Ausgestaltungsvariante der Erfindung,

Fig. 2 einen Ausschnitt aus einem Lichtbeeinflussungsmittel zur grob abgestuften Nachführung mittels schaltbarer Lichtquellen,

Fig. 3 ein Lichtbeeinflussungsmittel zur grob abgestuften Nachführung mittels schaltbarer Lichtquellen mit zusätzlicher Feldlinsenfunktion,

Fig. 4 einen Ausschnitt aus einem Lichtbeeinflussungsmittel zur grob abgestuften Nachführung mit einem Lichtquellentracking mittels diffraktiver Ablenkgritter in der Beleuchtungsvorrichtung,

Fig. 5 einen Ausschnitt einer Beleuchtungsvorrichtung mit einem Volumengitter und Winkelmultiplex

Fig. 6 eine Lichtmodulationsvorrichtung mit einem reflektiven Modulator,

Fig. 7 die Erzeugung zweier Feldlinsen mit Hilfe eines aktiven Flüssigkristallgitters,

Fig. 8 eine Lichtmodulationsvorrichtung mit einem transmissiven Modulator und einem Flüssigkristallphasengitter mit steuerbarer Gitterperiode in Verbindung mit einer Multiplexfeldlinse,

- Fig. 9 eine flache Hintergrundbeleuchtungsvorrichtung, welche eine vertikale und eine horizontale Verschiebung des durch eine Kollimationseinheit erzeugten Wellenfeldes vor dem Eintritt in ein erstes Volumengitter ermöglicht,
- Fig. 10a bis 10c die beispielhafte Wirkungen zweier steuerbarer Volumengitter als vertikale Lichtbeeinflussungselemente aus der Figur 9 und
- Fig. 11 eine Lichtmodulationsvorrichtung mit einem transmissiven Modulator und einem Polarisationsgitter in Verbindung mit einem schaltbaren Polarisator.

In Figur 1 ist eine typische Ausgestaltungsvariante einer Lichtmodulationsvorrichtung schematisch gezeigt. Eine Lichtquelle 100, die hier als flächenhaftes Lichtquellenfeld ausgebildet ist, umfasst eine Vielzahl einzelner Lichtquellen 101 bis 123 mit kleiner Ausdehnung, die über eine Systemsteuerung 900 einzeln oder in Gruppen schaltbar oder in ihrer Helligkeit steuer- oder regelbar sein können. Dabei kann jede Einzellichtquelle 101 bis 123 auch aus mehreren Lichtquellen mit unterschiedlicher Schwerpunktwellenlänge bestehen, die ebenfalls separat ansteuerbar sind. Die Lichtquellen 101 bis 123 beleuchten über eine Kollimationsoptik 200, die aus einem Feld von Einzellinsen 201 - 203 oder Zylinderlinsenstreifen bestehen kann, einen flächenhaften Lichtmodulator 400. Die Linsen 201 bis 203 können dabei auch steuerbar ausgeführt sein, so dass deren Fokusort in ein, zwei oder drei Richtungen durch die Systemsteuerung 900 veränderbar einstellbar ist. Die Vorrichtung kann ein Blendenfeld 250 aufweisen, um zu verhindern, dass Licht einer Lichtquelle 101 bis 123 durch mehrere Linsen 201 bis 203 der Kollimationsoptik 200 tritt. Das ist besonders dann wichtig, wenn die Vorrichtung für mehrere Betrachter ausgelegt ist. Bei dem in Figur 1 gezeigten Beispiel wird ein transmissiver Lichtmodulator 400 verwendet, der die Amplitude und/oder die Phase des Lichtes flächenhaft ändert. Dabei bildet das steuerbare Lichtquellenfeld 100 in Kombination mit der Kollimationsoptik 200 eine dynamische Beleuchtungsvorrichtung 300.

Der Lichtmodulator 400 erhält seine Modulationswerte für die Anzeige von dreidimensionalen Bildinformationen von der Systemsteuerung 900, der diese Werte anhand der Eingangsdaten der 3D Szene 902 und den von einem Augenpositionserkennungssystem 800 gelieferten Positionsdaten von mindestens einer Augenposition 1100 mindestens eines Betrachters der Bildinformation ermittelt. Dabei berücksichtigt die Systemsteuerung 900 die Kennlinie des Lichtmodulators 400 und weitere Korrekturwerte, die sich aus der Ausgestaltung des optischen Systems und der Positionsdaten ergeben. Die anzuzeigende Bildinformation, insbesondere der darzustellende Szenenausschnitt, kann auch außerhalb der Systemsteuerung 900 anhand der von der Systemsteuerung 900 an eine externe Recheneinheit gelieferten Augenpositionsdaten 901 aufbereitet werden. Das an sich bekannte Augenpositionserkennungssystem 800 kann z. B. aus mindestens einer Kamera und einer zugehörigen Auswerteeinheit bestehen, wobei die Auswerteeinheit auch Bestandteil der Systemsteuerung 900 sein kann. Die Auswerteeinheit ermittelt dabei aus den Kamerabildern die Lage der Augenpupillen im jeweiligen Kamerabild und berechnet daraus die zugehörigen Ortskoordinaten aller Betrachteraugen 1100. Auch andere Augenpositionserkennungssysteme 800, die beispielsweise mit Ultraschall arbeiten oder passive

oder aktive Marken bzw. Signalquellen verwenden, welche mit dem Betrachter verbunden sind, lassen sich einsetzen.

5 Im Lichtweg zwischen den Lichtquellen 101 bis 123 und den Betrachteraugen 1100 können sich weitere Lichtbeeinflussungselemente 501 befinden, die von der Systemsteuerung 900 angesteuert werden. Die dynamische Beleuchtungsvorrichtung 300 bildet in dem gezeigten Ausführungsbeispiel allein oder in Kombination mit den weiteren Lichtbeeinflussungselementen 501 das Lichtbeeinflussungsmittel 500 für die grobe Strahlablenkung. Um den jeweiligen Sichtbarkeitsbereich 1000 anhand der Augenpositionsdaten 901 durch die Systemsteuerung 900
10 kontinuierlich oder fein abgestuft auf das jeweilige Betrachterauge zu lenken, ist ein zweites Lichtbeeinflussungsmittel 600 in Form von diffraktiven steuerbaren Ablenkgittern vorhanden, welches ebenfalls aus mehreren Lichtbeeinflussungselementen zusammengesetzt sein kann. Zur Fokussierung des Sichtbarkeitsbereiches 1000 auf die Betrachterebene ist im Beispiel nach Figur 1 eine Feldlinse 700 vorhanden, die auch als steuerbare adaptive Linse ausgestaltet werden kann,
15 die über die Systemsteuerung 900 eine Anpassung der Ausdehnung des Sichtbarkeitsbereiches 1000 an den Abstand der Betrachteraugen 1100 vom Lichtmodulator 400 ermöglicht. Die Funktion der Feldlinse 700 kann jedoch auch teilweise oder vollständig in die dynamische Beleuchtungsvorrichtung 300 und/oder in weitere Lichtbeeinflussungselemente 501 und oder in Lichtbeeinflussungselementen des zweiten Lichtbeeinflussungsmittels 600 integriert werden.

20 Figur 2 zeigt schematisch einen Ausschnitt aus einer Beleuchtungsvorrichtung, die als Lichtbeeinflussungsmittel zu der grob abgestuften Nachführung mindestens eines Sichtbarkeitsbereiches auf den Ort mindestens eines Betrachterauges mittels schaltbarer Lichtquellen 101 bis 103 ausgebildet ist.

25 Eine Vielzahl von schalt- oder steuerbaren Lichtquellen 101, 102, 103 befinden sich vor einer Kollimationsoptik 200, die refraktive und/oder diffraktive Elementen enthalten kann. Durch Einschalten einer der beispielhaft dargestellten Lichtquellen 101, 102 oder 103 wird die gewünschte Ablenkrichtung ausgewählt. Der Ablenkwinkel hängt dabei vom Abstand der
30 Lichtquelle zur optischen Achse OA des Segmentes der Kollimationsoptik 200 und ihrem Abstand zur objektseitigen Hauptebene dieser Abbildungssegmente ab. Im dargestellten Beispiel befinden sich die Lichtquellen 101 bis 103 in der objektseitigen Brennebene, so dass die Kollimationsoptik 200 paralleles Licht verlässt. Dieses beleuchtet den Lichtmodulator 400.

35 Figur 3 zeigt schematisch eine Variante der grob abgestuften Nachführung mittels schalt- oder steuerbarer Lichtquellen 101-123 mit zusätzlicher Feldlinsenfunktion. Die einzelnen Lichtquellen 101 - 123 einer Lichtquelle 100, die als flächenhaftes Lichtquellenfeld ausgebildet ist, sind asymmetrisch hinter den Kollimationslinsen 201 - 203 einer Kollimationsoptik 200 angeordnet, so dass das Licht der Lichtquellen 101 - 123, welches durch den Lichtmodulator 400 durchtritt, in
40 Richtung des Randbereiches des Lichtmodulators 400 stärker in Richtung des Zentrums des Betrachterbereiches des Anzeigedisplays abgelenkt wird, als das Licht von Lichtquellen im

Zentrum der Kollimationsoptik 200. Die Lichtquellen 101 - 123 können, wie hier dargestellt, außerhalb der Brennebene der Kollimationslinsen 201 bis 203 angeordnet sein, so dass sie in die mittlere Betrachterebene abgebildet werden.

5 Die einzelnen Lichtquellen 101 - 123 können aus individuell schalt- oder steuerbaren Sublichtquellen mit unterschiedlichen spektralen Verteilungen der Abstrahlcharakteristik zusammengesetzt sein. Die einzelnen Sublichtquellen können dabei leicht in der Tiefe gestaffelt sein, d. h. an unterschiedlichen Positionen in Richtung der optischen Achse, um Farbfehler der Kollimationsoptik auszugleichen, damit alle Farbanteile weitestgehend in derselben mittleren
10 Betrachterebene abgebildet werden.

Zu diesem Zweck kann z. B. auch die Brechkraft der Kollimationslinsen 201 bis 203 durch die Systemsteuerung variabel änderbar sein, um solche Farbfehler auszugleichen und die Betrachterebene an den Abstand des Betrachters zum Anzeigedisplays anzupassen.

15

Es bestehen eine Reihe weiterer Möglichkeiten, eine Feldlinsenfunktion zu realisieren. So könnte die optische Achse der einzelnen Kollimationslinsen 201 bis 203 immer stärker zum Rand des Linsenfeldes 200 geneigt werden, so dass sich beispielsweise alle optischen Achsen in der Mitte des Betrachterbereiches in der mittleren Betrachterebene kreuzen. Dabei können auch die einer
20 Linse 201 bis 203 zugeordneten Lichtquellen 101 bis 123 geneigt angeordnet werden.

Figur 4 zeigt das Prinzip der Betrachternachführung mittels diffraktiver Gitter an einem Ausschnitt aus einer Beleuchtungsvorrichtung. Eine kollimierte Lichtquelle 101 beleuchtet ein schalt- bzw. steuerbares Lichtbeeinflussungselement 501 zur Strahlableitung, welches beispielsweise
25 mindestens ein diffraktives Ablenkgerät enthalten kann. Dieses lenkt die Strahlen der kollimierten Lichtquelle 101 je nach eingestelltem Ablenkwinkel auf einen anderen Ort einer Mattscheibe 110. Das Streuprofil kann lokal derart variiert werden, dass eine möglichst optimale Ausleuchtung der folgenden Kollimationslinse 201, welche z. B. diffraktive und/oder refraktive Elemente enthalten kann, erreicht wird. Das lokal variierte Streuprofil der Mattscheibe 110 kann beispielsweise
30 holographisch erzeugt werden. Die Auftreffstellen der vom Lichtbeeinflussungselement 501 abgelenkten Lichtstrahlen bilden je nach Ablenkwinkel sekundäre Lichtquellen 111 - 113, welche über die Kollimationslinse 201 einer Kollimationsoptik einen Bereich des Lichtmodulators analog zu Figur 2 oder 3 beleuchten. Auch hier kann die Lichtquelle 101 aus individuell schaltbaren Sublichtquellen mit unterschiedlichen spektralen Verteilungen der Abstrahlcharakteristik bestehen.
35 Das Lichtbeeinflussungselement 500 kann aus mehreren Ablenkgeräten zusammengesetzt sein, um beispielsweise eine zweidimensionale Ablenkung zu ermöglichen. Durch geeignete Blenden 250 kann verhindert werden, dass Licht nicht genutzter Beugungsordnungen, die am Lichtbeeinflussungselement 501 entstehen können, oder Licht der sekundären Lichtquellen 111 - 113, welches nicht auf die Kollimationslinse 201 fällt, weitere Kollimationslinsen der
40 Kollimationsoptik beleuchtet bzw. sich als unerwünschtes Streulicht in der Beleuchtungsvorrichtung ausbreitet.

Als Ablenkmitter im Lichtbeeinflussungselement 501 können bevorzugt steuerbare diffraktive Gitter eingesetzt werden, bei denen sich die Gitterperiode variabel einstellen lässt.

- 5 Dafür sind beispielsweise Phasengitter auf der Basis von Flüssigkristallzellen einsetzbar, bei denen über eine rasterförmige Elektrodenstruktur variable Gitterperioden und damit Ablenkwinkel einschreibbar sind.

Ebenso lassen sich akustooptische Modulatoren einsetzen.

10

Es sind jedoch auch weitere Ausgestaltungsvarianten möglich, wie der Einsatz von aktiven und passiven Polarisationsgittern in Verbindung mit steuerbaren Verzögerungsplatten.

- 15 Da der Abstand zwischen den Lichtbeeinflussungselement 501 und den Mattscheiben 110 groß gewählt werden kann, ist es möglich, im Lichtbeeinflussungselement 501 Ablenkmitter zu verwenden, die nur kleine Ablenkwinkel erzeugen können. Dadurch werden nur geringe Anforderungen an die benötigte minimale Gitterperiode gestellt, was die Herstellung solcher Ablenkelemente erheblich vereinfacht.

- 20 Um unerwünschte Intensitäten in der nullten Beugungsordnung auszublenden, kann man das steuerbare Gitter schräg beleuchten. Um für jede Arbeitswellenlänge einen optimalen Ablenkbereich zu erhalten, welche sich weitestgehend überlappen, lässt sich das Gitter für jeden Arbeitswellenlängenbereich mit einem anderen angepassten Winkel beleuchten.

- 25 An Stelle des Ablenkmiters im Lichtbeeinflussungselement 501 können auch andere Ablenkelemente verwendet werden. So lassen sich beispielsweise steuerbare Elektrobenetzungszellen einsetzen, bei denen die Lage eines Meniskus oder die Lage und Form eines Meniskus als Grenzfläche zwischen zwei Flüssigkeiten mit unterschiedlichem Brechungsindex in einer oder in zwei Richtungen variiert werden kann.

30

- In Figur 5 ist ein Ausschnitt einer Beleuchtungsvorrichtung mit einem Volumengitter und Winkelmultiplex der Lichtquellen symbolisch dargestellt. Das Lichtbeeinflussungselement 501, das mindestens ein Volumengitter 502 zur Lichtbeeinflussung enthält, wird dabei aus unterschiedlichen Richtungen von mehreren Lichtquellen 101 - 103 über Kollimationsoptiken 201 -
35 203 unter leicht von einander abweichenden Richtungen beleuchtet. In das Volumengitter 502 des Lichtbeeinflussungselementes 501 sind unterschiedliche Rekonstruktionsgeometrien fest einkodiert. Bei Beleuchtung aus unterschiedlichen Richtungen werden unterschiedliche Ausgangswellenfronten erzeugt. Beispielsweise kann das Volumengitter 502 des Lichtbeeinflussungselementes 501, das auch aus einem Stapel mehrerer Volumengitter 502
40 bestehen kann, unter fünf Winkeln mit einer Schrittweite von $0,3^\circ$ beleuchtet werden, welche auf

der Ausgangsseite fünf Feldlinsen-Wellenfronten mit einer Winkelschrittweite von beispielsweise 12° erzeugen.

Figur 6 zeigt schematisch eine Lichtmodulationsvorrichtung für einen reflektiven Lichtmodulator 400 zur Bildkodierung in Verbindung mit einer Vorderseitenbeleuchtungsvorrichtung. Die Vorderseitenbeleuchtungsvorrichtung zum Beleuchten des Lichtmodulators 400 mit kollimiertem Licht enthält einen Stapel ebener Lichttablenkelemente 510, 520. Die jeweilige Ablenkfunktion kann dabei durch Aktivieren einer dem jeweiligen Lichttablenkelement 510, 520 zugeordneten Lichtquelle 110, 120 ausgewählt werden. Die Lichtquellen 110, 120 werden im Beispiel durch jeweils mindestens eine Laserdiode für den roten 111, 121, den grünen 112, 122 und den blauen 113, 123 Spektralbereich gebildet. Über die den Lichtquellen 110, 120 zugeordneten Kollimationseinheiten 210, 220 wird deren Licht über jeweils mindestens ein Volumengitter 511, 521 in einen ebenen Lichtwellenleiter 513, 523 eingekoppelt, die sich jeweils auf einem Substrat 514, 524 befinden. Im Beispiel sind in die Volumengitter 511, 521 jeweils ein Hologramm für den roten, den grünen und den blauen Spektralbereich eingeschrieben. Für kohärentoptische Anwendungen, beispielsweise ein holographisches Anzeigegerät, sollte der ebene Lichtwellenleiter 513, 523 so dünn gewählt werden, dass sich jeweils nur ein Reflexionswinkel (Monomodelichtleiter) ausbreiten kann, um die Kohärenzeigenschaften des Lichtes zu erhalten.

Über das dem ebenen Lichtwellenleitern 513, 523 zugeordnete Volumengitter 512, 522 wird das Licht aus diesem ausgekoppelt und auf den reflektiven Lichtmodulator 400 kollimiert gelenkt. Das von dem reflektiven Modulator 400 modulierte Licht wird je nach ausgewählter Lichtquelle 111-113, 121-123 durch das zugeordnete Volumengitter 512, 522 in die gewünschte Richtung abgelenkt bzw. wie hier im Beispiel dargestellt an der gewünschten Stelle in der Betrachterebene fokussiert. Im Beispiel sind dabei auch in die Volumengitter 512, 522 Hologramme für jede Betriebswellenlänge der Lichtquellen 110, 120 eingeschrieben. Die Hologramme sind dabei so ausgebildet, dass über die gesamte Fläche des Lichtmodulators 400 eine einheitliche Beleuchtungsintensität erzeugt wird. Dazu muss die Beugungseffektivität im Volumengitter 512, 522 ansteigen, je weiter die Auskoppelstelle vom jeweiligen Einkoppelgitter 511, 521 entfernt ist.

Mindestens ein zusätzliches kontinuierlich oder in feinen Stufen arbeitendes Lichttablenkelement 600 sorgt dafür, dass das Licht je nach Position des Betrachters auch auf Augenpositionen gerichtet werden kann, die nicht mit den festen Fokussierpunkten der in die Volumengitter 512, 522 eingeschriebenen Hologrammen übereinstimmen. Dabei kann das Ablenkelement 600 die Feldlinsenfunktion unterstützen oder diese Funktion vollständig übernehmen. Ebenso kann eine separate Feldlinse beispielsweise zwischen dem Lichttablenkelement 600 und dem Betrachter angeordnet werden.

Die den Lichtquellen 110, 120 zugeordneten Kollimationseinheiten 210, 220 können passive und/oder aktive optische Elemente 211, 212, 221, 222 zur Strahlformung und Strahlrichtungsänderung enthalten, welche das Licht reflektiv, diffraktiv und refraktiv beeinflussen

können. Sie können auch abtastende Komponenten enthalten, um beispielsweise die Einkoppelvolumengitter 511, 521 streifenförmig zu beleuchten.

Figur 7 zeigt schematisch eine weitere Ausgestaltungsvariante der Erfindung. Dabei können durch
5 ein ansteuerbares Volumengitter 532 eine von zwei in ein statisches Volumengitter 533 eingeschriebene Feldlinsen durch eine in Figur 7 nicht dargestellte Systemsteuerung selektiert werden. Ein reflektiver Phasenmodulator 400, welcher von einer Vorderseitenbeleuchtungs-
10 vorrichtung 300 kollimiert beleuchtet wird, erzeugt eine modulierte Phasenverteilung, die die darzustellende Bildinformation enthält. In einer Strahlvereinigungs-optik 410 wird durch das Vereinigen von Licht, welches durch benachbarte Pixel des Phasenmodulators 400 moduliert wurde, eine in Amplitude und Phase räumlich modulierte Wellenfront 450 zum Rekonstruieren der darzustellenden Objekte im Rekonstruktionsraum erzeugt. Die Objektpunkte können dabei reell zwischen Betrachter und Lichtmodulator 400 und virtuell hinter dem Lichtmodulator 400 rekonstruiert werden. Die modulierte Wellenfront 450 wird von dem statischen
15 Volumengitter 531 um einen festen Winkel abgelenkt, um für das nachfolgende steuerbare Volumengitter 532 einen optimalen bzw. geeigneten Eintrittswinkel zu erzeugen. Dabei können die Austrittswinkel für die einzelnen schmalbandigen Wellenlängenbereiche der Lichtquellen der Vorderseitenbeleuchtungs-
20 vorrichtung 300 leicht voneinander abweichen. Je nach Ansteuerung des steuerbaren Volumengitters 532 tritt das Licht durch dieses ungebeugt hindurch oder wird an dessen Gitterstruktur in die erste Beugungsordnung gebeugt. Bei dem steuerbaren Volumengitter 532 kann es sich beispielsweise um ein polymerdispertiertes Flüssigkristallgitter handeln. Das gewünschte Beugungsmuster wird dabei beim Herstellungsprozess durch lokales Auspolymerisieren beim Einschreiben eines Hologramms erzeugt. Je nach angelegter Spannung an einer Elektrodenstruktur kann bei einem solchen Gitter der Brechzahlunterschied zwischen den
25 Gitterelementen gesteuert werden. Wird die Spannung so gewählt, dass kein Brechzahlunterschied vorhanden ist, tritt das Licht ungebeugt durch das Gitter. Durch eine geeignete Spannung an den Elektroden kann der Brechzahlunterschied im Gitter so gewählt werden, dass für den momentanen Rekonstruktionswellenlängenbereich nahezu alles Licht in die erste Ordnung gebeugt wird.

30 Ein statisches Volumengitter 533, das ebenfalls als Multiplexvolumengitter ausgebildet sein kann, fokussiert die jeweils ausgewählte Richtung in den Fokusbereich 1001 bzw. 1002. Dabei können auch die unterschiedlichen Eintrittswinkel für die einzelnen Wellenlängenbereiche berücksichtigt werden, so dass die Fokusbereiche der einzelnen Farben jeweils einen gemeinsamen
35 Fokusbereich bilden.

Es ist auch möglich, die Beugungswinkel in den Gittern 531 und/oder 532 örtlich zu variieren, um für das Volumengitter 533 örtlich einen geeigneten Eintrittswinkel zu erhalten, um in diesem Gitter den erforderlichen Beugungswinkel mit hohem Beugungswirkungsgrad einzustellen. Dabei kann
40 auch eine segmentierte Anordnung zum Einsatz kommen. Die Anordnung ist auch für Amplitudenmodulatoren oder komplexwertige Modulatoren geeignet. Ebenso lassen sich

transmissive Modulatoren mit einer Hintergrundbeleuchtungsvorrichtung einsetzen. Für ein autostereoskopisches Display lassen sich beispielsweise so die Fokuspunkte für das rechte und das linke Betrachterauge umschalten. In der Regel wird der Anordnung ein hier nicht dargestelltes Lichtbeeinflussungsmittel für die kontinuierliche Nachführung der Foki auf die Betrachterposition nachgestellt.

Figur 8 zeigt schematisch eine Ausgestaltungsvariante einer Lichtmodulationsvorrichtung mit mindestens einem transmissiven Phasenmodulator 400 zum Kodieren der Bildinformation in Verbindung mit einem steuerbaren Flüssigkristallphasengitter 541. Der Lichtmodulator 400 wird mit hinreichend kohärentem Licht mit einer Hintergrundbeleuchtungsvorrichtung 300 beleuchtet. Das vom Lichtmodulator 400 modulierte Licht wird in mindestens einer Strahlvereinigungsoptik 410 zu einer in Amplitude und Phase räumlich modulierten Wellenfront 450 geformt. Diese Wellenfront trifft auf mindestens ein steuerbares Flüssigkristallphasengitter 541 zur stufenweisen Ablenkung der Wellenfront. Dazu besitzt das Flüssigkristallphasengitter 541 eine Vielzahl von Elektroden, die einzeln oder in Gruppen mit einem variablen Spannungsprofil angesteuert werden können. Durch Anlegen eines sägezahnförmigen Spannungsprofils mit variabler Periodenlänge und variablem Spannungshub an die Elektrodenstruktur wird im Flüssigkristallgitter ein Bragg-Gitter erzeugt. Auf Grund des dadurch erzeugten Sägezahnverlaufs des Phasenprofils am Gitter wirkt dieses als Blazed-Gitter für die eingestellte Ablenkrichtung, wenn die Gitterperiode und der Phasenhub an die momentane Arbeitswellenlänge angepasst sind. Dadurch wird das Licht der Wellenfront mit hohem Beugungswirkungsgrad in die gewünschte Ablenkrichtung gebeugt.

Allgemein kann das Flüssigkristallphasengitter 541 diskrete oder auch kontinuierlich variable Winkel für beispielsweise drei Wellenlängen erzeugen.

In der nachfolgenden Feldlinse, die ein dünnes Volumengitter 542 enthalten kann und ein dickes Volumengitter 543 aufweist, wird einer der in das dicke Volumengitter 543 eingeschriebenen Fokusbereiche 1001 - 1005 durch den mit dem Flüssigkristallphasengitter 541 ausgewählten Ablenkwinkel selektiert. Das dünne Volumengitter 542, falls vorhanden, beugt dabei das Licht, welches vom Flüssigkristallphasengitter 541 kommt, sodass für das mindestens eine dicke Volumengitter 543 ein optimaler bzw. geeigneter Eintrittswinkel entsteht, damit das Licht im Flüssigkristallphasengitter 541 mit hohem Beugungswirkungsgrad gebeugt werden kann.

Ein Lichtbeeinflussungsmittel 600, welches mindestens ein fein strukturiertes steuerbares diffraktives Flüssigkristallphasengitter enthält, dient als Lichtbeeinflussungsmittel zur kontinuierlichen bzw. fein abgestuften Nachführung des ausgewählten Fokusbereiches 1001-1005 auf die Position des selektierten Auges des Betrachters durch die in Figur 8 nicht dargestellte Systemsteuerung. Dadurch wird der Sichtbarkeitsbereich für das Betrachten der Rekonstruktion für das selektierte Betrachterauge gebildet.

In Figur 9 ist schematisch ein Lichtbeeinflussungsmittel für die grobe Strahlablenkung dargestellt, welches in eine flache Hintergrundbeleuchtungseinheit integriert ist. Eine Lichtquelle 100 beleuchtet über eine Strahlaufweitungsoptik 210 eine Kollimationsoptik 220. Die Lichtquelle 100 kann dabei z. B. mindestens je eine einzeln steuerbare Laserdiode für den roten, den grünen und den blauen Spektralbereich enthalten. Das von der Kollimationsoptik 220 kollimierte Licht wird durch ein Linsenfeld 230 jeweils auf die Blendenöffnungen eines Blendenfeldes 120 gerichtet. Die Blendenöffnungen fungieren als sekundäre Lichtquellen und bilden gemeinsam ein Lichtquellenfeld. Im Strahlengang können sich weitere optische Komponenten 110 zur Aufbereitung des von der Lichtquelle 100 abgestrahlten Lichtes befinden. So kann beispielsweise mindestens eine bewegte Mattscheibe zur Verminderung störenden Speckles positioniert werden, welche die kohärente Laserstrahlung mit einer Zufallsphase moduliert. Anstelle einer einzelnen Lichtquelle 100 und dem Blendenfeld 120 kann auch ein Lichtquellenfeld, welches beispielsweise aus einer Vielzahl von Laserdioden der benötigten Wellenlängenbereiche enthält, verwendet werden. Die einzelnen sekundären Lichtquellen des Blendenfeldes 120 werden über ein weiteres Linsenfeld 240 kollimiert und beleuchten ein erstes Lichtbeeinflussungselement 550 zur Strahlablenkung in vertikaler Richtung. Auch hier können sich im Strahlengang weitere optische Komponenten 130 zur Aufbereitung des von den sekundären Lichtquellen 120 abgestrahlten Lichtes befinden. So kann mindestens eine feste oder bewegte Mattscheibe die räumliche Kohärenz auf der Ausgangsfläche der Hintergrundbeleuchtungsvorrichtung auf ein geeignetes Maß begrenzen, damit sich beispielsweise darzustellende Subhologramme nicht gegenseitig beeinflussen. Ein zweites Lichtbeeinflussungselement 560 kann das Licht in horizontaler Richtung beeinflussen. Es ist auch möglich, dass die Lichtbeeinflussungselemente 550, 560 das Licht in eine andere Richtung als horizontal oder vertikal beeinflussen oder in geänderter Reihenfolge angeordnet werden. Die Lichtbeeinflussungselemente 550, 560 können auch in einem Lichtbeeinflussungselement mit einer zweidimensionalen Lichtbeeinflussungswirkung zusammengefasst sein. Das von dem Lichtbeeinflussungsmittel 550 ausgehende Licht beleuchtet über einen Lichtleiter 260 ein erstes Volumengitter 570. Dieses lenkt das Licht über einen weiteren Lichtleiter 270 auf ein zweites Volumengitter 580. Je nach der durch die steuerbaren Lichtbeeinflussungselemente 550, 560 erzeugten Winkelverteilung des Lichtes mit dessen ausgewählter Wellenlängenverteilung wird über die in das Volumengitter 570 und 580 eingeschriebenen Volumen hologramme das gewünschte Winkelspektrum zum Beleuchten eines hier nicht dargestellten Lichtmodulators selektiert. Dabei kann die Winkelverteilung durch die Lichtbeeinflussungselemente 550, 560 so ausgelegt werden, dass die gesamte Modulatorfläche gleichmäßig hell beleuchtet wird. Dazu kann der Beugungswirkungsgrad der Volumengitter 570, 580, wie bereits beschrieben wurde, örtlich variieren.

Die Lichtleiter 260 und 270 sollten vorteilhaft aus einem Material bestehen, dessen Brechkraft sich möglichst wenig von der der zugehörigen Volumengitter 570 und 580 unterscheidet, um Reflexionen an den Grenzflächen zu vermeiden. Eine oder beide Lichtleiter 260, 270 können auch keilförmig ausgestaltet sein. Sie können jedoch auch aus anderen Materialien bestehen, beispielsweise Luft. In diesem Fall müssen die Grenzflächen gegebenenfalls entspiegelt werden.

Durch die Volumengitter 570 und 580 erfolgt zugleich eine anamorphotische Vergrößerung des durch die sekundären Lichtquellen 120 erzeugten und dem Linsenfeld 240 kollimierten Beleuchtungswellenfeldes. Dadurch ist es möglich, zur Selektion der in die Volumengitter 570 und 580 eingeschriebenen Hologrammfunktionen Lichtbeeinflussungselemente 550, 560 mit kleiner räumlicher Ausdehnung zu verwenden. Diese lassen sich einfacher und kostengünstiger herstellen als großflächige Anordnungen. Kleinflächige steuerbare Ablenkmitter lassen sich zudem mit kleinerer Gitterkonstante herstellen, wodurch höhere Beugungswinkel generierbar sind.

10 Im Lichtweg zwischen der Lichtquelle 100 und dem Lichtleiter 260 können sich weitere optische Komponenten wie Lichtleitfasern oder Umlenkspiegel befinden, um eine kompakte Bauform des Gesamtsystems zu ermöglichen.

Die Figuren 10a bis 10c zeigen schematisch einen möglichen Aufbau und drei beispielhafte Wirkungsmöglichkeiten eines Lichtbeeinflussungselementes aus dem Ausführungsbeispiel von Figur 9 anhand des Lichtbeeinflussungselementes 550 für die vertikale Ablenkung.

Zwei aufeinander folgende steuerbare Flüssigkristallphasengitter 551 und 552 beeinflussen als vertikale Verschiebeeinheit eine Eingangswellenfront 150 und transformieren sie in eine Ausgangswellenfront 160.

Im Beispiel der Figur 10a wird durch die beiden steuerbaren Flüssigkristallphasengitter 551 und 552 sowohl eine vertikale Verschiebung als auch eine Winkeländerung der Ausbreitungsrichtung des Wellenfeldes 150 erzeugt.

Beispiel gemäß Figur 10b demonstriert eine Aufweitung und Verschiebung des Schwerpunktes des Wellenfeldes 150.

Im Beispiel gemäß der Figur 10c erfolgt eine Verschiebung und lokal variierende Änderung des Austrittswinkels des Wellenfeldes 150.

In Figur 11 ist schematisch eine Ausgestaltungsvariante einer Lichtmodulationsvorrichtung dargestellt, bei der die Nachführung des Sichtbarkeitsbereiches der Rekonstruktion der 3D Szene in groben Stufen auf die Position der Augen des Betrachters mit Hilfe eines passiven Polarisationsgitters in Verbindung mit aktiven polarisationsverändernden Lichtbeeinflussungselementen erfolgt.

Ein von einer Hintergrundbeleuchtungseinheit 300 hinreichend kohärent beleuchteter Phasenmodulator 400, in dem die zu rekonstruierende Szene kodiert ist, erzeugt mit Hilfe einer Strahlvereinigungsoptik 410 eine in Amplitude und Phase räumlich modulierte Wellenfront 450. Durch einen schalt- oder steuerbaren Polarisator 591, der beispielsweise als schaltbare bzw.

steuerbare Verzögerungsplatte ausgebildet sein kann, wird das Licht der Wellenfront 450 wahlweise rechts- oder linkszirkular polarisiert auf das nachfolgende Polarisationsgitter 593 gelenkt. Das Polarisationsgitter 593 beugt das Licht entsprechend der Polarisierungsrichtung des einfallenden Lichtes mit hoher Beugungseffektivität entweder in die +1 oder in die -1
5 Beugungsordnung. Zwischen dem schaltbaren Polarisator 591 und dem Polarisationsgitter 593 kann dabei ein Volumenhologramm 592 angeordnet werden, welches das durch das schaltbare bzw. steuerbare polarisationsverändernde Element durchtretende Licht lokal in eine solche Richtung beugt, dass sie einen geeigneten Eintrittswinkel für das Polarisationsgitter 593 darstellt.

10 Ein polarisationsveränderndes Element 594, was ebenfalls schaltbar bzw. steuerbar ausgebildet sein kann, kann hinter dem Polarisationsgitter 593 angeordnet sein, um Licht, welches nicht in die gewünschte Beugungsordnung abgelenkt wird, zu unterdrücken.

Ein nachfolgendes Lichtbeeinflussungsmittel 600 zur kontinuierlichen bzw. feinstufigen
15 Lichtablenkung lenkt das Licht der modulierten Wellenfront 450 auf die Augen des Betrachters, so dass dieser die rekonstruierte 3D Szene wahrnehmen kann.

Die Anordnung kann weitere passive oder aktive polarisationsbeeinflussende Elemente enthalten, um für nachfolgende polarisationsabhängige Elemente die benötigte Polarisationsrichtung einzustellen oder linear polarisiertes Licht in zirkular polarisiertes Licht umzuwandeln bzw.
20 umgekehrt.

Im Ausführungsbeispiel ist ein passives Polarisationsgitter 593 dargestellt, dessen Gitterperiode lokal kontinuierlich oder in Stufen variiert. Dadurch kann z. B. eine Feldlinsenfunktion realisiert
25 werden. Bei neutraler Stellung des Lichtbeeinflussungsmittels 600 werden so je nach Stellung der schaltbaren bzw. steuerbaren polarisationsbeeinflussenden Elemente 591 bzw. 594 das Licht der Wellenfront 450 auf eine der beiden Sichtbarkeitsbereiche 1001 oder 1002 gelenkt. Eine oder beide schalt- bzw. steuerbare polarisationsbeeinflussende Elemente 591 bzw. 594 können ebenfalls lokal strukturiert und in ein oder zwei Richtungen separat schalt- bzw. steuerbar
30 ausgeführt werden, um Einflüsse des Durchtrittswinkels und/oder des momentanen Wellenlängenbereiches des durchtretenden Lichtes zu kompensieren.

Es können auch Polarisationsgitter 593 mit einheitlicher Gitterkonstante eingesetzt werden. Diese lenken das Licht der modulierten Wellenfront 450 je nach Stellung des polarisationsverändernden
35 Elements 591 in eine von zwei Richtungen, die durch die +1 und -1 Beugungsordnung festgelegt ist. Die Feldlinsenfunktion kann dann durch zusätzliche passive und/oder aktive optische Elemente, beispielsweise Volumengitter, erreicht werden.

Durch lokal steuerbare polarisationsverändernde Elemente 591, 594 lassen sich in Stapeln,
40 welche aus solchen Elementen 591, 594 und passiven Polarisationsgittern 593 bestehen, der Einfluss des Ablenkwinkels von Elementen 591, 593, 594 der im Strahlengang davor

angeordneten Stapelebenen wellenlängenabhängig auf die Polarisationsänderung im jeweiligen polarisationsbeeinflussenden Element 591, 594 kompensieren. Polarisationsbeeinflussende Elemente 594 und 591, die aufeinander folgen und zu unterschiedlichen benachbarten Stapelebenen angehören, können auch in einem gemeinsamen steuerbaren polarisationsbeeinflussenden Element zusammengefasst werden.

Solche Stapel können eingesetzt werden, um mehr als zwei Fokusbereiche bzw. Ablenkrichtungen zu erzeugen. Vorzugsweise besitzen die Polarisationsgitter 593 in den Stapelebenen an derselben horizontalen und vertikalen Position unterschiedliche Gitterkonstanten und damit unterschiedliche Beugungswinkel, um insgesamt eine möglichst gleichmäßige und möglichst feine Abstufungen zu erreichen, so dass doppelte Fokusbereiche vermieden werden.

Durch den Einsatz von Polarisationsgittern 593 mit steuerbarer Gitterperiode kann die Zahl der Schichten in einem solchen Stapel klein gehalten werden.

Mit schaltbaren Polarisationsgittern 593 kann zusätzlich die nullte Beugungsordnung genutzt werden.

Durch eine geeignete Kombination der Schichtdicke und damit der optischen Verzögerung und des Verdrehungswinkels der Flüssigkristallmoleküle können Polarisationsgitter 593 hergestellt werden, die für einen breiten Wellenlängenbereich nahezu einen Beugungswirkungsgrad von 100 % besitzen. Es können auch Stapel von schaltbaren Polarisationsgittern 593 eingesetzt werden, bei denen jedes Element für einen anderen Wellenlängenbereich optimiert ist.

So kann bei einem Farbmultiplexbetrieb jeweils nur das für den aktuellen Spektralbereich optimierte Gitter aktiviert werden.

An Stelle eines Phasenmodulators 400 und einer Strahlvereinigungsoptik 410 kann auch ein komplexwertiger Lichtmodulator verwendet werden. Ebenso ist der Einsatz eines reflektiven Modulators in Verbindung mit einer Vorderseitenbeleuchtung möglich.

In den aufgeführten Ausführungsbeispielen können auch Lichtmodulatoren eingesetzt werden, die das kodierte Hologramm über eine scannende Vorrichtung erzeugen oder die mehrere Lichtmodulatoren enthalten. Ebenso kann ein holographisches oder ein autostereoskopisches Display auch mehrere separate Lichtmodulationsvorrichtungen enthalten, die gemeinsam eine 3D Szene rekonstruieren bzw. ein stereoskopisches Bild erzeugen.

Die Steuerung aller aktiver Komponenten kann in allen Beispielen durch eine Systemsteuerung anhand der von einem Augenpositionserkennungssystem ermittelten Positionen der Betrachteraugen erfolgen, wobei z. B. Bildfehler von optischen Komponenten, Temperatureinflüsse und lokale Abweichungen der Wellenfrontform auf Grund von

Helligkeitsabweichungen in der Beleuchtungsvorrichtung 300 und Modulationsfehler im Lichtmodulator 400 weitestgehend berücksichtigt und kompensiert werden können. Falls erforderlich können solche Fehler durch Kalibrationsmessungen ermittelt oder aktiv in Echtzeit gemessen werden.

5

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.

Patentansprüche

1. Lichtmodulationsvorrichtung für ein holographisches oder ein autostereoskopisches Display zur Anzeige von dreidimensionalen Bildinformationen mit mindestens einer realen oder virtuellen Lichtquelle (100), mindestens einem Lichtmodulator (400) zum Einkodieren der anzuzeigenden Bildinformationen für mindestens ein Betrachterauge (1100) mindestens eines Betrachters, einem ersten und einem zweiten Lichtbeeinflussungsmittel (500, 600) zum Ändern des Lichtweges des von der Lichtquelle (100) ausgesandten Lichtes, einem Augenpositionserkennungssystem (800) zum Erfassen und Verfolgen mindestens einer Augenposition des mindestens einen Betrachters der Bildinformation und einer Systemsteuerung (900) zum Nachführen mindestens eines Sichtbarkeitsbereiches (1000) der Bildinformationen anhand der von dem Augenpositionserkennungssystem gelieferten Augenpositionsdaten (901) mit Hilfe des ersten und des zweiten Lichtbeeinflussungsmittels (500, 600), dadurch gekennzeichnet, dass das erste Lichtbeeinflussungsmittel (500) den Sichtbarkeitsbereich (1000) innerhalb eines Betrachterbereiches den Augen des Betrachters in groben Stufen nachführt und dass das zweite Lichtbeeinflussungsmittel (600) den Sichtbarkeitsbereich (1000) mindestens im Bereich einer groben Stufe des ersten Lichtbeeinflussungsmittels (500) den Augen des Betrachters (1100) mit Hilfe mindestens eines elektrisch ansteuerbaren Beugungsgitters fein abgestuft oder kontinuierlich nachführt.
2. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Lichtausbreitungsrichtung das zweite Lichtbeeinflussungsmittel (600) vor oder hinter dem ersten Lichtbeeinflussungsmittel (500) angeordnet ist und dass das erste und/oder zweite Lichtbeeinflussungsmittel (500, 600) vor oder hinter dem Lichtmodulator (400) angeordnet ist.
3. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem ersten (500) und/oder dem zweiten Lichtbeeinflussungsmittel (600) die Position der Lichtquelle (100) und/oder die Strahlrichtung des Lichtweges änderbar ist, wobei die Position der Lichtquelle (100) in einer oder in zwei oder in drei Richtungen einstellbar ist und die Strahlrichtung des Lichtweges in horizontaler und/oder vertikaler Richtung einstellbar ist.
4. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und/oder das zweite Lichtbeeinflussungsmittel (500, 600) aus mehreren Lichtbeeinflussungselementen zusammengesetzt ist, mit welchen unabhängig voneinander die Strahlrichtung und/oder die Position der Lichtquelle (100) änderbar ist.
5. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe der Positionsänderung des Lichts der Lichtquelle (100) und/oder die Größe der Strahlrichtungsänderung im ersten und/oder im zweiten Lichtbeeinflussungsmittel (500, 600) in Abhängigkeit des Auftreffortes des Lichtes auf die Fläche des Lichtbeeinflussungsmittels (500, 600) änderbar ist, so dass zusätzlich zur

Nachföhrfunktion eine Feldlinsenfunktion fester oder variabler Brennweite realisierbar ist oder eine solche Feldlinsenfunktion unterstötzt wird.

6. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionsänderung mindestens einer Lichtquelle (100) im ersten Lichtbeeinflussungsmittel durch eine mechanische Bewegung der mindestens einen Lichtquelle (100) und/oder durch Modulieren der Intensität mehrerer Lichtquellen (100) an unterschiedlichen Orten realisierbar ist.
7. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein erstes Lichtbeeinflussungsmittel (500) vorhanden ist, welches das Licht diffraktiv und/oder refraktiv beeinflusst.
8. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein erstes Lichtbeeinflussungsmittel (500) ein oder mehrere aufeinander folgende schaltbare diffraktive Gitter mit einer festen oder örtlich variablen Gitterperiode enthält.
9. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Lichtbeeinflussungsmittel (500) eine Vorrichtung zum Ändern der Positionen der Lichtquellen und/oder deren Abstrahlrichtungen enthalten ist und dass das erste Lichtbeeinflussungsmittel mindestens ein Volumenhologramm (502) enthält, in das mindestens zwei winkelselektive Beugungswinkel und/oder Feldlinsenfunktionen eingeschrieben sind, die durch Änderung der Richtung der Lichts selektierbar sind.
10. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen mindestens einer Lichtquelle und mindestens einem Volumenhologramm mindestens eine horizontale und/oder vertikale Verschiebeinheit und/oder eine Verkippereinheit vorhanden ist, die das Licht der Lichtquelle steuerbar so beeinflusst, dass der Auftreffwinkel und/oder der Auftreffort auf das Volumenhologramm (502) änderbar ist.
11. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine reale oder virtuelle Lichtquelle vorhanden ist, die umschaltbar das erste Lichtbeeinflussungsmittel mit mindestens zwei eng beieinander liegenden schmalbandigen Wellenlängenbereichen beleuchtet und dass das erste Lichtbeeinflussungsmittel mindestens ein Volumenhologramm (502) enthält, in das mindestens zwei auf diese Wellenlängenbereiche abgestimmte wellenlängenselektive Beugungswinkel und/oder Feldlinsenfunktionen eingeschrieben sind, die durch Änderung der Wellenlängen der Lichtquellen selektierbar sind.
12. Lichtmodulationsvorrichtung nach Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Lichtbeeinflussungsmittel mindestens ein Volumenhologramm (502) enthalten ist, in

welches mindestens zwei winkelselektive und mindestens zwei wellenlängenselektive Beugungswinkel und/oder Feldlinsenfunktionen eingeschrieben sind.

- 5 13. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Volumenhologramme (502) des ersten Lichtbeeinflussungsmittels mindestens zwei hintereinander angeordneten Volumenhologrammen enthält, die auf unterschiedliche Eintrittswinkel und/oder Wellenlängenbereiche abgestimmt sind, um Licht in unterschiedliche Richtungen abzulenken und/oder zu fokussieren.
- 10 14. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 10 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Lichtbeeinflussungsmittel mindestens eine schaltbare Verzögerungsplatte und mindestens eine doppelbrechende Linse enthält, um die Strahlrichtung des Lichtes zu ändern.
- 15 15. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine doppelbrechende Linse eine Flüssigkristalllinse ist.
- 15 16. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein doppelbrechendes Polarisationsgitter (593) mit einer festen oder über die Fläche des Polarisationsgitters variierende Gitterperiode vorhanden ist, um die Strahlrichtung der Lichtes zu ändern.
- 20 17. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 10 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Lichtbeeinflussungsmittel mindestens ein doppelbrechendes Polarisationsgitter (593) mit einer schaltbaren festen oder über die Fläche des Polarisationsgitters variierende Gitterperiode vorhanden ist, um die Strahlrichtung der Lichtquellen zu ändern.
- 25 18. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein doppelbrechendes schaltbares Polarisationsgitter (593) vorhanden ist, das für einen schrägen Lichteinfall optimiert wurde und/oder welches achromatische Eigenschaften aufweist und für mindestens zwei Wellenlängen optimiert ist.
- 30 19. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Lichtbeeinflussungsmittel (600) mindestens ein änderbares diffraktives Gitter vorhanden ist, mit dem die Strahlrichtungsänderungen durch die steuerbare gleichmäßige oder örtlich variable Änderung einer Gitterperiode des diffraktiven Gitters einstellbar ist.
- 35 20. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der änderbaren diffraktiven Gitter eine Flüssigkristallschicht enthält, dessen örtlich feste oder variable Gitterperiode durch Anlegen des Spannungsprofils an einer Elektrodenstruktur geändert wird.

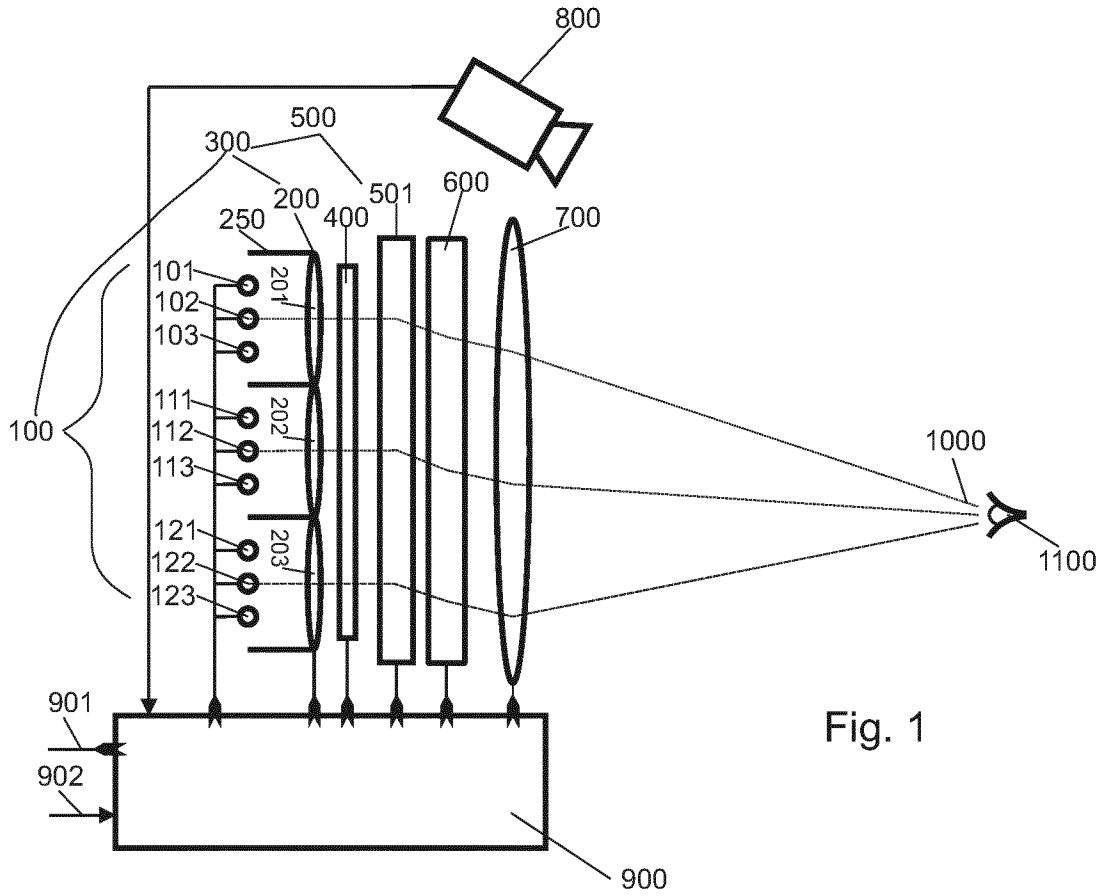


Fig. 1

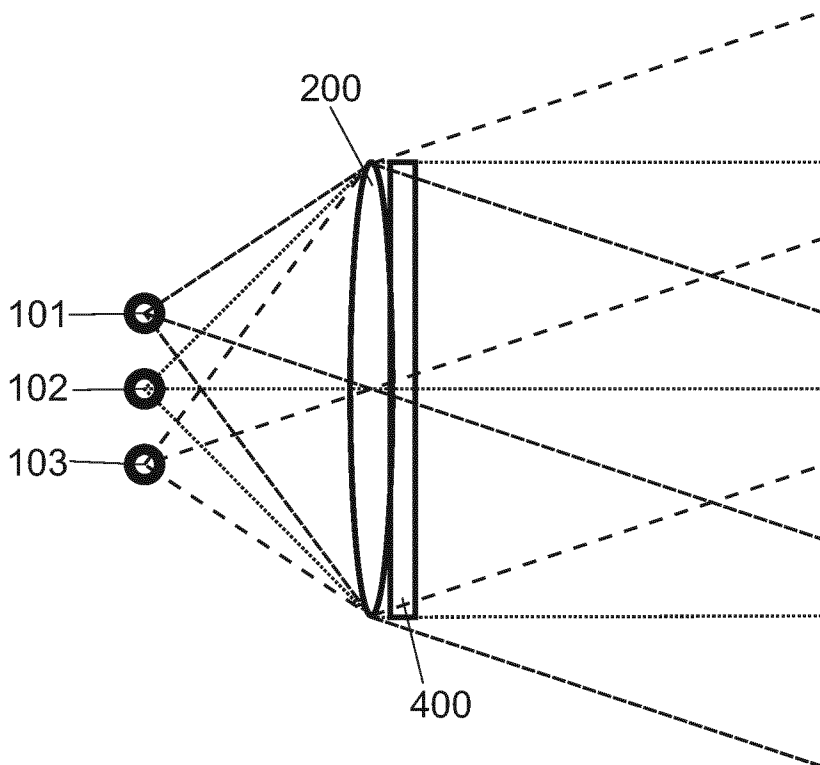


Fig. 2

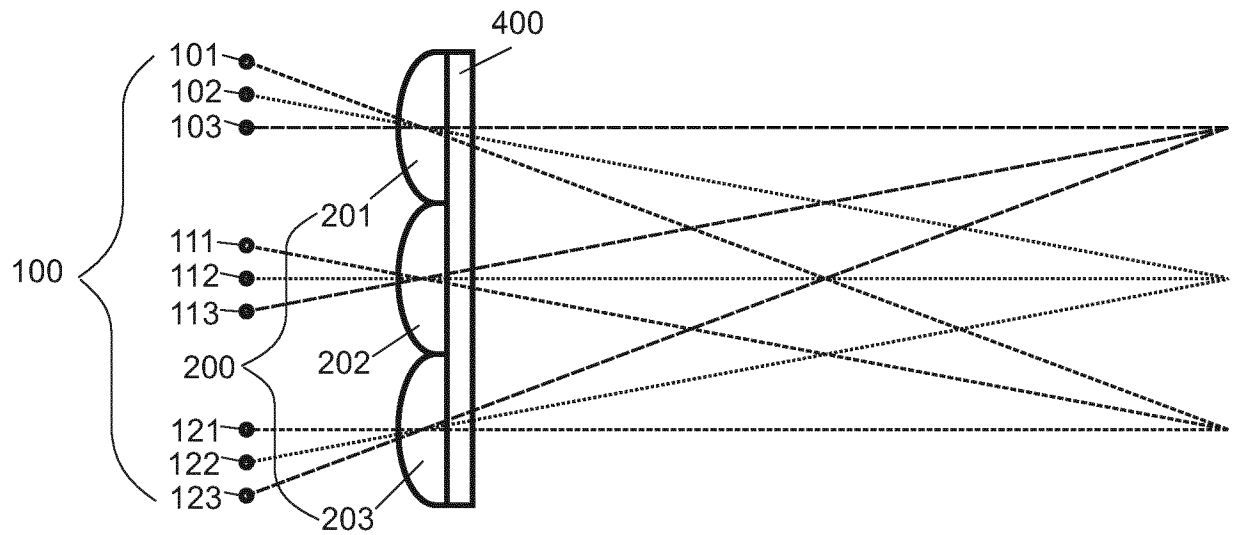


Fig. 3

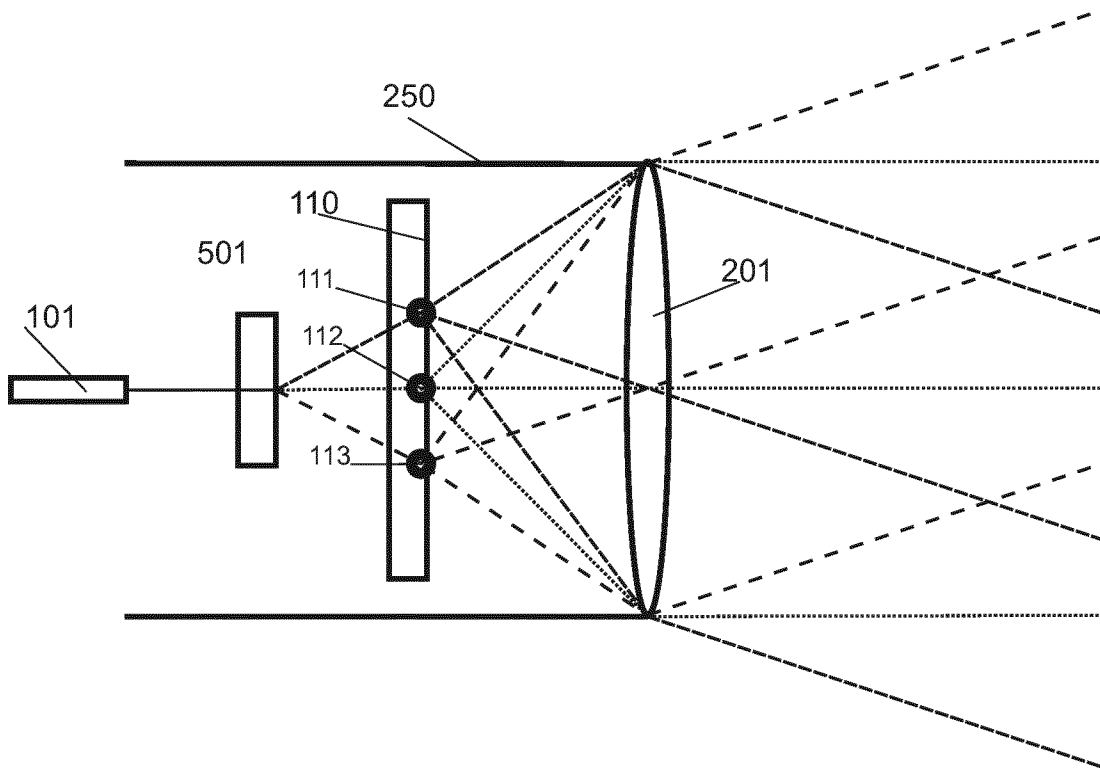
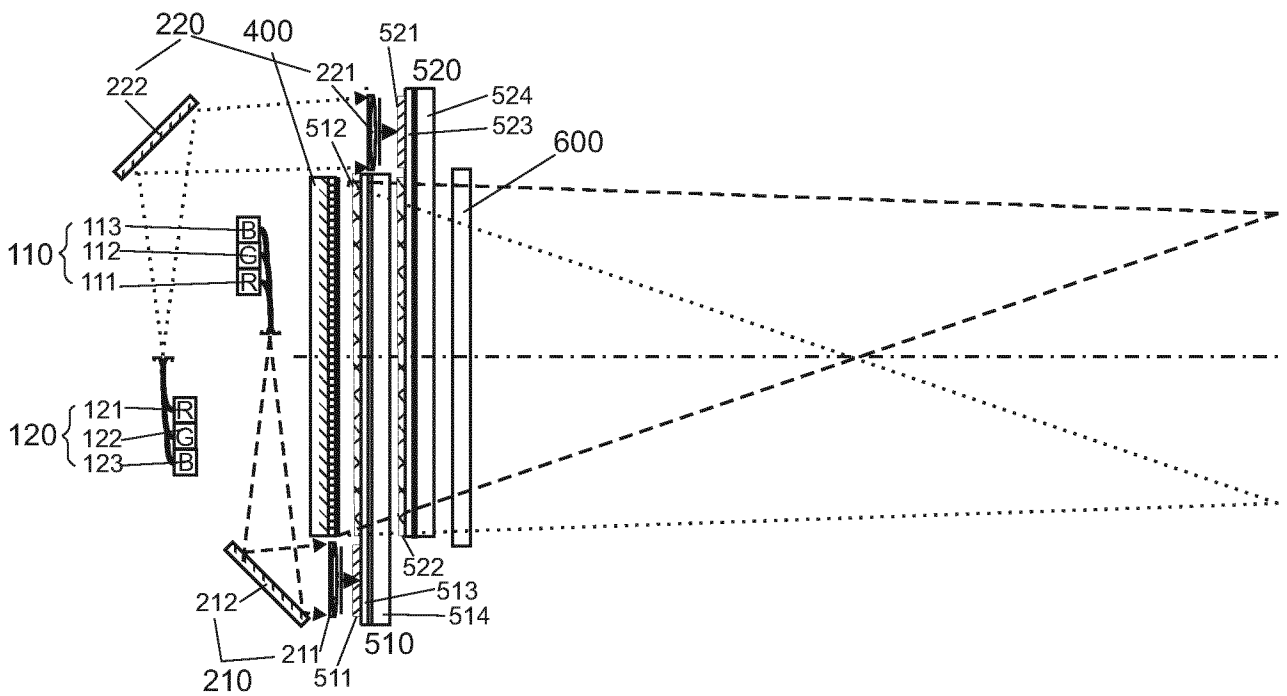
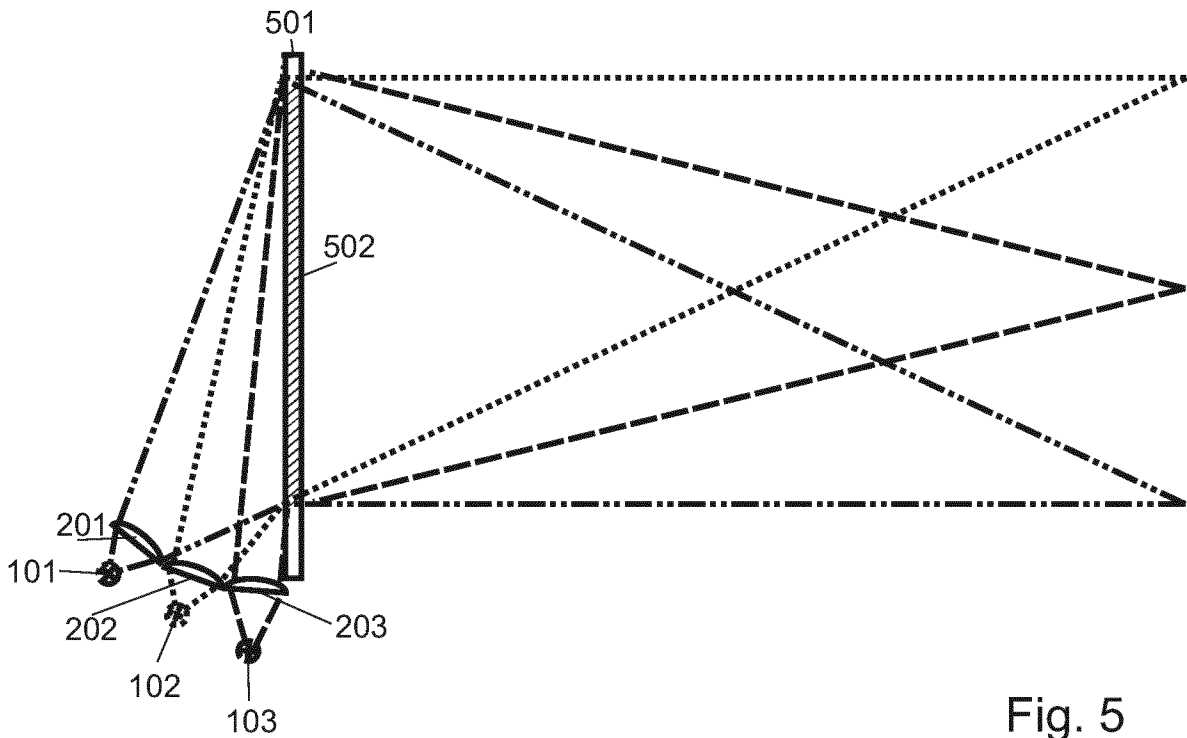


Fig. 4



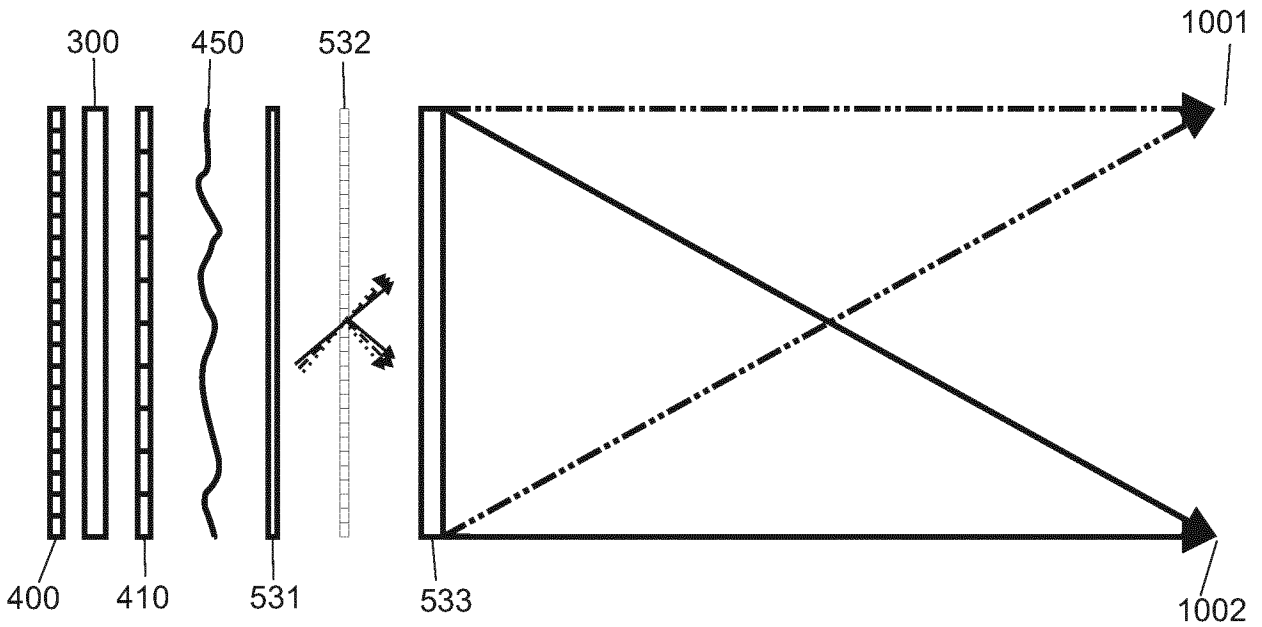


Fig. 7

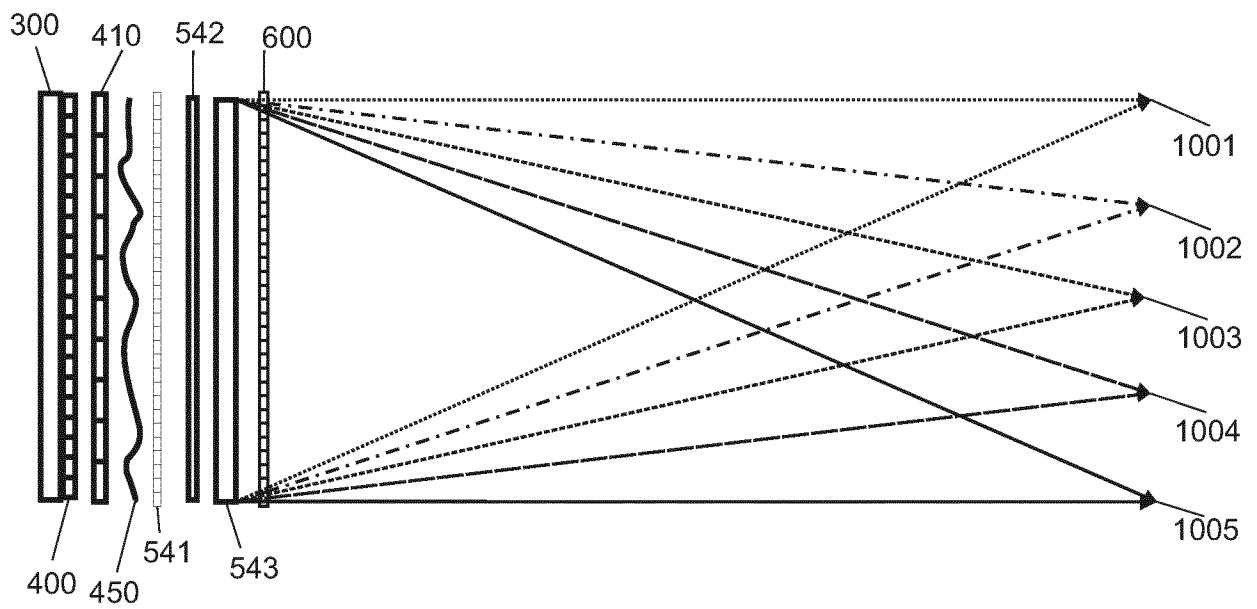


Fig. 8

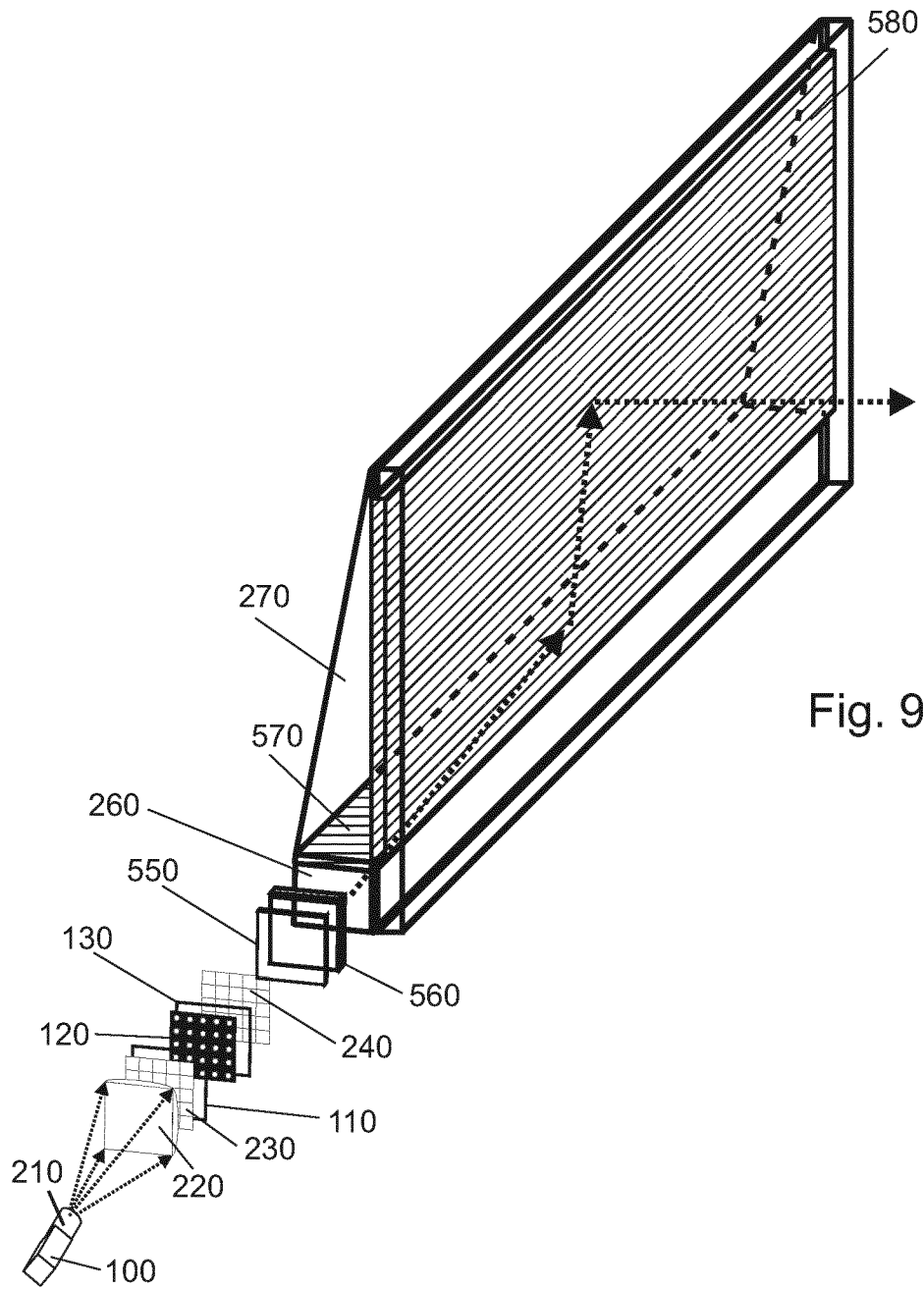


Fig. 9

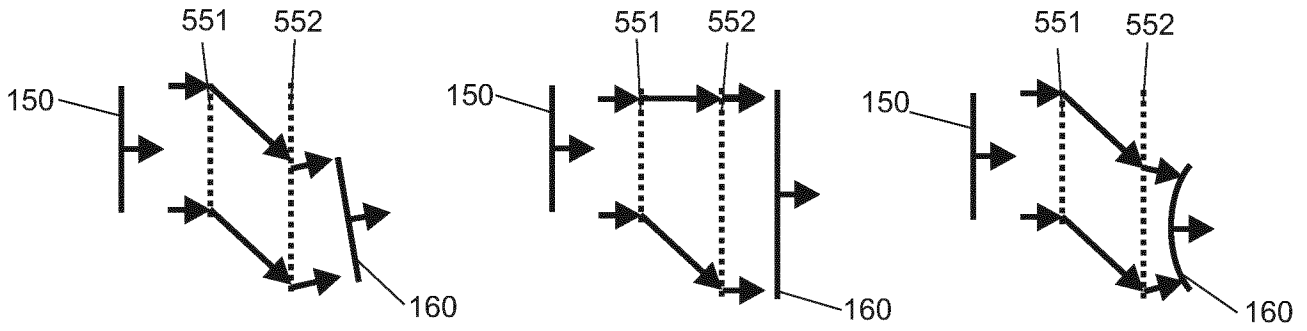


Fig. 10a

Fig. 10b

Fig. 10c

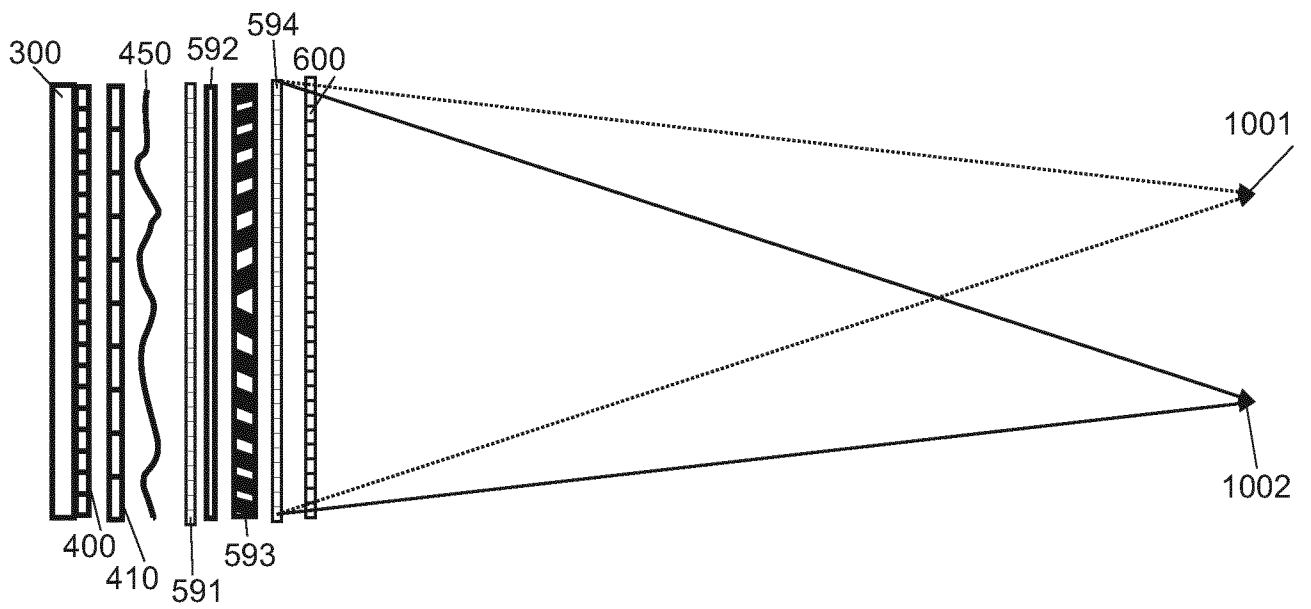


Fig. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/073533

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G03H1/22 G02B27/22 H04N13/04
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G03H G02B H04N

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 2008/142156 A2 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]; REICHELST STEPHAN [DE]) 27 November 2008 (2008-11-27) the whole document	1-20
X	EP 0 769 881 A2 (SHARP KK [JP]) 23 April 1997 (1997-04-23) the whole document	1-20
X	DE 10 2006 043297 A1 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]) 27 March 2008 (2008-03-27) the whole document	1
X	DE 10 2006 004300 A1 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]) 2 August 2007 (2007-08-02) the whole document	1
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 22 March 2012	Date of mailing of the international search report 28/03/2012
--	--

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/EP2011/073533

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 6 473 209 B1 (POPOVICH MILAN M [GB]) 29 October 2002 (2002-10-29) the whole document -----	1,9-13
A	WO 2008/130561 A1 (UNIV NORTH CAROLINA STATE [US]; ESCUTI MICHAEL J [US]; OH CHULWOO [US]) 30 October 2008 (2008-10-30) cited in the application the whole document -----	1,16-18
A	WO 2010/084326 A2 (TRAYNER DAVID JOHN [GB]; ORR EDWINA MARGARET [GB]) 29 July 2010 (2010-07-29) the whole document -----	1,6,9-13
A	US 2007/035809 A1 (MARAM JONATHAN [US] ET AL) 15 February 2007 (2007-02-15) the whole document -----	1,19,20
A	DE 100 53 880 A1 (MUELLER HELMUT FRANK OTTOMAR [DE]) 2 August 2001 (2001-08-02) the whole document -----	11-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/073533

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008142156 A2	27-11-2008	DE 102007026071 A1 JP 2010529485 A TW 200916831 A US 2010157026 A1 WO 2008142156 A2	27-11-2008 26-08-2010 16-04-2009 24-06-2010 27-11-2008
EP 0769881 A2	23-04-1997	DE 69620335 D1 DE 69620335 T2 EP 0769881 A2 GB 2306826 A JP 3465866 B2 JP 9149433 A US 5777720 A	08-05-2002 31-10-2002 23-04-1997 07-05-1997 10-11-2003 06-06-1997 07-07-1998
DE 102006043297 A1	27-03-2008	DE 102006043297 A1 TW 200825455 A WO 2008031707 A1	27-03-2008 16-06-2008 20-03-2008
DE 102006004300 A1	02-08-2007	CA 2637751 A1 CN 101371204 A DE 102006004300 A1 EP 1974246 A2 JP 2009524095 A KR 20080094061 A US 2010271676 A1 WO 2007099457 A2	07-09-2007 18-02-2009 02-08-2007 01-10-2008 25-06-2009 22-10-2008 28-10-2010 07-09-2007
US 6473209 B1	29-10-2002	NONE	
WO 2008130561 A1	30-10-2008	CN 101657741 A EP 2137559 A1 JP 2010525396 A KR 20100024389 A US 2010225856 A1 WO 2008130561 A1	24-02-2010 30-12-2009 22-07-2010 05-03-2010 09-09-2010 30-10-2008
WO 2010084326 A2	29-07-2010	CN 102282856 A EP 2389766 A2 KR 20110122815 A US 2012013651 A1 WO 2010084326 A2	14-12-2011 30-11-2011 11-11-2011 19-01-2012 29-07-2010
US 2007035809 A1	15-02-2007	US 2007035809 A1 US 2008018986 A1 US 2010053730 A1	15-02-2007 24-01-2008 04-03-2010
DE 10053880 A1	02-08-2001	DE 10053880 A1 DE 29920151 U1	02-08-2001 29-03-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/073533

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G03H1/22 G02B27/22 H04N13/04
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G03H G02B H04N

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 2008/142156 A2 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]; REICHELST STEPHAN [DE]) 27. November 2008 (2008-11-27) das ganze Dokument	1-20
X	EP 0 769 881 A2 (SHARP KK [JP]) 23. April 1997 (1997-04-23) das ganze Dokument	1-20
X	DE 10 2006 043297 A1 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]) 27. März 2008 (2008-03-27) das ganze Dokument	1
X	DE 10 2006 004300 A1 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]) 2. August 2007 (2007-08-02) das ganze Dokument	1
	----- -/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
22. März 2012	28/03/2012

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 6 473 209 B1 (POPOVICH MILAN M [GB]) 29. Oktober 2002 (2002-10-29) das ganze Dokument -----	1,9-13
A	WO 2008/130561 A1 (UNIV NORTH CAROLINA STATE [US]; ESCUTI MICHAEL J [US]; OH CHULWOO [US]) 30. Oktober 2008 (2008-10-30) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1,16-18
A	WO 2010/084326 A2 (TRAYNER DAVID JOHN [GB]; ORR EDWINA MARGARET [GB]) 29. Juli 2010 (2010-07-29) das ganze Dokument -----	1,6,9-13
A	US 2007/035809 A1 (MARAM JONATHAN [US] ET AL) 15. Februar 2007 (2007-02-15) das ganze Dokument -----	1,19,20
A	DE 100 53 880 A1 (MUELLER HELMUT FRANK OTTOMAR [DE]) 2. August 2001 (2001-08-02) das ganze Dokument -----	11-13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/073533

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2008142156 A2	27-11-2008	DE 102007026071 A1 JP 2010529485 A TW 200916831 A US 2010157026 A1 WO 2008142156 A2	27-11-2008 26-08-2010 16-04-2009 24-06-2010 27-11-2008
EP 0769881 A2	23-04-1997	DE 69620335 D1 DE 69620335 T2 EP 0769881 A2 GB 2306826 A JP 3465866 B2 JP 9149433 A US 5777720 A	08-05-2002 31-10-2002 23-04-1997 07-05-1997 10-11-2003 06-06-1997 07-07-1998
DE 102006043297 A1	27-03-2008	DE 102006043297 A1 TW 200825455 A WO 2008031707 A1	27-03-2008 16-06-2008 20-03-2008
DE 102006004300 A1	02-08-2007	CA 2637751 A1 CN 101371204 A DE 102006004300 A1 EP 1974246 A2 JP 2009524095 A KR 20080094061 A US 2010271676 A1 WO 2007099457 A2	07-09-2007 18-02-2009 02-08-2007 01-10-2008 25-06-2009 22-10-2008 28-10-2010 07-09-2007
US 6473209 B1	29-10-2002	KEINE	
WO 2008130561 A1	30-10-2008	CN 101657741 A EP 2137559 A1 JP 2010525396 A KR 20100024389 A US 2010225856 A1 WO 2008130561 A1	24-02-2010 30-12-2009 22-07-2010 05-03-2010 09-09-2010 30-10-2008
WO 2010084326 A2	29-07-2010	CN 102282856 A EP 2389766 A2 KR 20110122815 A US 2012013651 A1 WO 2010084326 A2	14-12-2011 30-11-2011 11-11-2011 19-01-2012 29-07-2010
US 2007035809 A1	15-02-2007	US 2007035809 A1 US 2008018986 A1 US 2010053730 A1	15-02-2007 24-01-2008 04-03-2010
DE 10053880 A1	02-08-2001	DE 10053880 A1 DE 29920151 U1	02-08-2001 29-03-2001