



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 024 236 A1** 2008.11.27

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 024 236.2**

(22) Anmeldetag: **21.05.2007**

(43) Offenlegungstag: **27.11.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 27/22** (2006.01)

G03H 1/22 (2006.01)

G02B 26/08 (2006.01)

(71) Anmelder:

**SeeReal Technologies S.A.,
Luxemburg/Luxembourg, LU**

(72) Erfinder:

**Fütterer, Gerald, Dr., 01277 Dresden, DE; Kroll, Bo,
London, GB; Schwerdtner, Armin, Dr., 01259
Dresden, DE**

(74) Vertreter:

**Grasnick, H.,
Dipl.-Ing.Faching.f.Schutzrechtswesen, Pat.-Ass.,
01307 Dresden**

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

WO 2006/1 19 920 A1

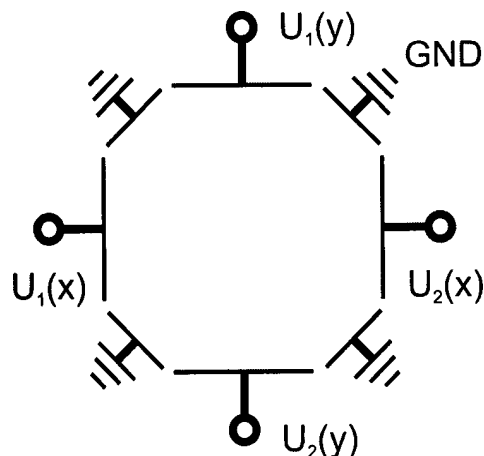
WO 2004/0 75 526 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Holographisches Rekonstruktionssystem mit einer Anordnung von steuerbaren Mikroprismen**

(57) Zusammenfassung: Ein holographisches Rekonstruktionssystem zum dreidimensionalen Rekonstruieren von Objektlichtpunkten einer Szene enthält räumliche Lichtmodulationsmittel, welche interferenzfähige Lichtwellen von Beleuchtungsmitteln mit wenigstens einem Videohologramm modulieren und optische Fokussiermittel, welche die modulierten Lichtwellen mit den rekonstruierten Objektlichtpunkten für mindestens eine Augenposition von Betrachteraugen fokussieren. Eine Systemsteuerung mit steuerbaren elektro-optischen Ablenkmitteln, um die fokussierten, modulierten Lichtwellen mit den rekonstruierten Objektlichtpunkten auf mindestens eine Augenposition auszurichten und bei Positionswechsel der Augenposition nachzuführen. Gemäß der Erfindung ist das elektro-optische Ablenkmittel ein steuerbares optisches Oberflächen-Relief-Gitter mit separat ansteuerbaren Zellen, die in einem Raster mit einem Zellenpitch angeordnet sind und die unter einem elektrischen Steuerfeld das optische Beugungsverhalten innerhalb des Beugungsspektrums des Oberflächen-Relief-Gitters ändern.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein holographisches Rekonstruktionssystem zum dreidimensionalen Rekonstruieren einer Szene mit räumlichen Lichtmodulationsmitteln, welche eine holographische Kodierung tragen und Beleuchtungsmitteln zum Beleuchten der Lichtmodulationsmittel.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft vorrangig eine Echtzeit- oder echtzeitnahe Darstellung von bewegten Szenen mittels Folgen von Videohologrammen. Ein Hologramm-Signalprozessor kalkuliert Videohologramme und kodiert diese auf einer Modulatorzellenstruktur von räumlichen Lichtmodulationsmitteln, welche beim Beleuchten mit interferenzfähigen Beleuchtungsmitteln mindestens eine Lichtwellenfront mit holographischer Information räumlich modulieren. Die modulierte Lichtwellenfront rekonstruiert durch Interferenz der Lichtwellen die Szene und breitet sich so zu einer Augenposition aus, dass ein oder mehrere Betrachter die rekonstruierten Objektlichtpunkte als dreidimensionale Rekonstruktion einer Szene wahrnehmen. Das heißt, die rekonstruierten Objektlichtpunkte geben vor den Augenpositionen die optische Erscheinung der Szene dreidimensional wieder. Bei Rekonstruktionssystem mit geringer Auflösung der Modulatorzellen in den räumlichen Lichtmodulationsmitteln und eine reduzierten Rechneraufwand zum Kalkulieren der Videohologramme ist es vorteilhaft, die modulierte Lichtwellenfront mit Fokussiermittel auf einen Sichtbarkeitsbereich von einigen Millimetern bis zu wenigen Zentimetern zu reduzieren. Dann ist die Rekonstruktion nicht mit einer modulierten Wellenfront gleichzeitig für beide Augen eines Betrachters sichtbar. Die Augen eines Betrachters können dann im Zeit- oder Raummultiplex von verschiedenen Videohologrammen bedient werden, die sich in der Parallaxe unterscheiden.

[0003] Als Lichtmodulationsmittel eignen sich beispielsweise hochauflösende flache Lichtmodulatoren mit Bildauflösungen von mehreren Millionen Pixeln gut, die in Displays für Video- und TV-Geräten oder Projektoren eingesetzt werden. Diese erreichen umso größere Lichtbeugungswinkel je kleiner ihr Abstand der Mittelpunkte der Modulatorzellen, der so genannte Modulator-Pitch, ausgeführt ist.

[0004] Aus der internationalen Veröffentlichung WO 2004/044659 mit der Bezeichnung "Videohologramm und Einrichtung zur Rekonstruktion von Videohologrammen" ist ein Rekonstruktionssystem bekannt, welches zur räumlichen Lichtmodulation ein aus der Fernseh- und Videotechnik bekanntes Flüssigkristall-Display LCD mit konventioneller Auflösung verwendet. Dieses Rekonstruktionssystem enthält Fokussiermittel zwischen den Beleuchtungsmitteln und den Lichtmodulationsmitteln. Diese ermöglichen mit einer für Videohologramme relativ geringen Modula-

torauflösung eines konventionellen Flüssigkristall-Displays in einem Rekonstruktionsraum zwischen dem räumlichen Lichtmodulator und einem Sichtbarkeitsbereich an einer Augenposition eine holographisch rekonstruierte Szene in einem weiten Blickwinkel und mit hoher Raumtiefe bei guter Auflösung für wenigsten einen Betrachter sichtbar zu machen.

[0005] Ein Nachteil derartiger Lichtmodulatoren ist, dass diese trotz des relativ kleinen Pitch der Modulatorzellen immer noch einen sehr kleinen Beugungswinkel aufweisen, so dass ein Betrachten einer Rekonstruktion mit beiden Augen nicht möglich ist. Beispielsweise erzeugt ein Pitch von nur 5 μm bei einer Wellenlänge $\lambda = 500 \text{ nm}$ (blau-grün) einen Beugungswinkel von etwa 0,1 rad. Das ergibt bei 500 mm Betrachterabstand eine laterale Ausdehnung von 50 mm, welche bei einem üblichen Augenabstand von 65 mm eine Betrachtung mit beiden Augen verhindert.

[0006] Der Anmelder beschreibt in der internationalen Veröffentlichung WO2006/119760 mit dem Titel: „Projektionsvorrichtung und Verfahren zur holographischen Rekonstruktion von Szenen“ ein holographisches Projektionssystem, das für den Lichtmodulator ein Mikro-Display mit einer Diagonalen von wenigen Zentimetern Größe nutzt. Die Vorrichtung weist Abbildungsmittel auf, die das interferenzfähige Licht in einer Fokalebene abbilden, so dass ein Sichtbarkeitsbereich für eine Augenposition entsteht. Ein erstes Abbildungsmittel bildet ein auf dem Lichtmodulator kodiertes Videohologramm vergrößert auf einem fokussierenden Wiedergabeschirm ab. Der Wiedergabeschirm bildet ein Raumfrequenzspektrum des Videohologramms an einer Augenposition ab. Damit ist eine optisch vergrößerte Rekonstruktion der Szene mit einem Blick vom Sichtbarkeitsbereich zum Wiedergabeschirm in einem weiten Sichtwinkel sichtbar. Der Sichtbarkeitsbereich ist daher die Abbildung der verwendeten Beugungsordnung der Fourier-Ebene des Videohologramms. Wie auch bei den zuvor beschriebenen Rekonstruktionssystemen, kann der Lichtmodulator derart kodiert werden, dass sich der Rekonstruktionsraum rückwärtig hinter dem zweiten Abbildungsmittel fortsetzt.

[0007] Alle oben beschriebene Rekonstruktionssysteme nutzen Lichtmodulationsmittel mit einer diskreten Modulatorzellenstruktur und mit einer für die Holographie vergleichsweise geringen Auflösung. Die diskrete Modulatorzellenstruktur führt einerseits bekanntlich dazu, dass sich die holographische Rekonstruktion in anderen Beugungsordnungen eines Beugungsintervalls periodisch wiederholt, so dass Sichtstörungen auftreten können. Andererseits führt der erwähnte verfügbare Pitch der Modulatorzellenstruktur zu einem vergleichsweise geringen Beugungswinkel, so dass in der Praxis für einen störungsfreien

Sichtbarkeitsbereich eine Beugungsordnung von einigen Millimetern bis zu wenigen Zentimetern zur Verfügung steht. Deshalb ist es sinnvoll, eine derartige Vorrichtung mit einem Positionserkennungs- und Nachführmodul zu kombinieren. Dieses richtet mit Wellennachführmitteln die modulierten Lichtwellen auf die aktuelle Augenposition, stellt die Position des Sichtbarkeitsbereichs abhängig von der Augenposition ein und führt sie beim jedem Wechsel der Augenposition nach.

[0008] Das in der Veröffentlichung WO 2004/044659 beschriebene Rekonstruktionssystem offenbart ein Verschieben von Lichtquellen zum Ausrichten und zum Nachführen der Position des Sichtbarkeitsbereichs. Insbesondere verschiebt das System aktive Lichtquellen in einem Lichtquellenfeld mechanisch oder elektronisch lateral zur optischen Achse des Systems.

[0009] Nachteilig ist, dass sich bei einem großen Nachführbereich Aberrationen der Abbildungsmittel störend auf die Rekonstruktion der räumlichen Szene auswirken. Die Aberrationen entstehen dadurch, dass je nach Augenposition das Licht das Abbildungsmittel zum Rekonstruieren unter verschiedenen Winkeln durchläuft.

[0010] Außerdem wird entweder ein mechanisches Positionieren der Lichtquellen oder im Fall eines elektronischen Steuern der Lichtquellenposition eine hohe räumliche Auflösung des Lichtquellenfeldes benötigt. Dann muss das Lichtquellenfeld für jedes Abbildungselement des Abbildungsfeldes eine Vielzahl von Punktlichtquellen enthalten.

[0011] Die in der Veröffentlichung WO 2006/119920 beschriebene Projektionsvorrichtung enthält gemäß einer besonderen Ausführung zum Ausrichten und zum Nachführen der Position des Sichtbarkeitsbereichs steuerbare Ablenkmittel, die ein mechanisches, elektrisches oder optisches Ausrichten und Nachführen realisieren. Die Ablenkmittel liegen entweder in der Nähe des ersten Abbildungsmittels und verschieben wie ein Prisma das räumliche Spektrum virtuell oder liegen in der Nähe des Wiedergabeschirms und realisiert eine Prismenfunktion und optional eine Linsenfunktion, um den Sichtbarkeitsbereich laterales und optional axial nachzuführen.

[0012] Aus der internationalen Veröffentlichung WO 2004/099847 mit dem Titel: „Electrowetting Cell“ ist eine steuerbare elektrooptische Zelle eine sogenannte Elektro-Benetzungszelle bekannt. Diese Zellen nutzen den Kapillareffekt und eine Elektrobenetzung, um mit elektrostatischem Potential die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten zu verändern und damit das optische Brechungsverhalten steuern. Eine Elektrobenetzungszelle enthält im Prinzip eine Kapazität, die zwischen den Elektroden mit einer hydrophoben

Flüssigkeit, wie Öl und Wasser gefüllt ist, wobei eine der Elektroden hydrophob beschichtet ist. Ohne elektrisches Feld legt sich das Öl als Film über die beschichtete Elektrode, mit Film verdrängt das Wasser den Ölfilm, da das anliegende Feld die Polarisation der Dipole in der Wasseroberfläche aufhebt. Die Zelle kann elektronisch einstellbare optische Linsen und Prismenelemente von Größenordnungen unterhalb eines Quadratmillimeters realisieren.

[0013] Ein autostereoskopisches Wiedergabesystem gemäß der internationalen Veröffentlichung WO 2004/075526 mit dem Titel "Auto stereoscopic Display" nutzt eine solche Elektro-Benetzungszelle. Auch bei diesem Display durchleuchtet kollimiertes Licht ein flaches Panel mit diskreten Pixeln, welches für jedes Betrachterauge in der Parallaxe verschiedene Videobilder generiert. Das Flachdisplay enthält einen Strahlenteilers und eine dynamisch einstellbare Strahlsteuerung mit Elektro-Benetzungszellen, um damit die Videobilder auf das betreffende Auge von Betrachtern zu richten. Bei der einstellbaren Strahlsteuerung ist jedem Modulatorpixel des Flachdisplays physisch eine Elektro-Benetzungszelle fest zugeordnet, um den Lichtaustrittswinkel des in seiner Intensität beeinflussten Lichtstrahls auf die entsprechende Augenposition einzustellen. Die feste Zuordnung der Benetzungszellen zu den Pixeln des Flachdisplays erfordert einen hohen technologischen Aufwand insbesondere an Präzision bei der Fertigung. Das System ist für eine punktweise Beeinflussung von inkohärentem Licht konzipiert und stellt keinerlei Anforderungen an Interferenzbedingungen. Insbesondere unlineares Transmissionsverhalten in den Randzonen der Benetzungszellen würde bei ungenauer Zuordnung der Elektro-Benetzungszellen zum Modulatorpixel die Ausbreitung der interferenzfähigen modulierten Lichtwellen beeinflussen und das Interferenzverhalten des Rekonstruktionssystems und damit der Güte der Rekonstruktion empfindlich stören.

Zusammenfassung der Erfindung:

[0014] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein holographisches Rekonstruktionssystem mit einer opto-elektronischen Wellennachführung zu schaffen, bei der die modulierten Lichtwellen unabhängig von der aktuellen Augenposition eines Betrachter in einem Nachführbereich einen weitestgehend konstanten Lichtweg durch das Rekonstruktionssystem aufweisen, so dass die Anforderungen an die optischen Komponenten des Systems minimiert werden und ein großer Teil des optischen Lichtweges des Rekonstruktionssystems vor dem Rekonstruieren der Szene unter statischen Bedingungen in eine Korrektur der optischen Wellenausbreitung einbezogen werden kann. Außerdem ist das optische Übertragungsverhalten der optischen Komponenten der Wellennachführung an die strengen Bedingungen

gen der Interferenzfähigkeit anzupassen, so dass die Objektlichtpunkte einer dreidimensionalen Szene frei von Fehlern in der lokalen Position innerhalb der Struktur der Szene und mit möglichst originalgetreuen Lichtwerten rekonstruiert werden. Eine präzise Zuordnung der Wellennachführungsmittel zur Struktur der Modulatorzellen der Lichtmodulationsmittel soll vermieden werden.

[0015] Die Erfindung geht von einem holographischen Rekonstruktionssystem zum dreidimensionalen Rekonstruieren von Objektlichtpunkten einer Szene aus, das räumliche Lichtmodulationsmittel enthält, welche interferenzfähige Lichtwellen von Beleuchtungsmitteln mit wenigstens einem Videohologramm modulieren.

[0016] Optische Fokussiermitteln fokussieren die modulierten Lichtwellen mit den rekonstruierten Objektlichtpunkten für mindestens eine Augenposition von Betrachteraugen und eine Systemsteuerung richtet über elektro-optische Ablenkmittel, die fokussierten, modulierten Lichtwellen mit auf mindestens eine Augenposition aus und führen sie bei Positionswechsel der Augenposition nach. Die Lichtmodulationsmittel modulieren die Lichtwellen so, dass diese unabhängig vom Ausrichten und Nachführen der Lichtwelle die Objektlichtpunkte vor der Augenposition rekonstruieren.

[0017] Gemäß der Erfindung enthalten die elektro-optischen Ablenkmittel wenigstens ein Mikroprismenfeld, das eine Vielzahl der an sich bekannten Elektro-Benetzungszellen enthält.

[0018] Ein solches Mikroprismenfeld wirkt unter einer kohärenten Beleuchtung wie eine Phasen-Amplituden-Gitterstruktur, die das kohärente Licht in einem periodischen Beugungsspektrum mit einer Vielzahl von Beugungsordnungen beugt und entsprechen in ihrer Funktionsweise den Eigenschaften, eines Oberflächen-Relief-Gitters. Dieses hat zur Folge, das ein Einstellen des Ablenkwinkels für das ausgehende Wellenfeldes eines solchen elektro-optisches Ablenkmittel nicht kontinuierlich erfolgen kann. Bei der Variation des Keilwinkels des Prismas durch ein elektrisches Steuerfeld ändern sich die Beugungswirkungsgrade in den einzelnen Beugungsordnungen der ausgehenden Lichtwellen. D. h. die Aufteilung der Intensität erfolgt in Bezug auf Winkel, die durch die Gittergleichung festgelegt sind. Eine Variation des Keilwinkels, das heißt der Oberflächenneigung des Mikroprismas durch das steuernde elektrische Feld entspricht einer Variation der Beugungswirkungsgrade in den verschiedenen Beugungsordnungen, d. h. die Ausbreitung der Lichtwellen erfolgt nur in diskreten Richtungen, wobei die Intensitäten in diesen Richtungen variiert werden können.

[0019] Trotz des diskreten Schaltens von Winkeln in

einem solchen Gitterstruktur kann für ein Rekonstruktionssystem gemäß der Erfindung auch zum kontinuierlichen Einstellen des Ablenkwinkels für das ausgehende interferenzfähige Wellenfeld genutzt werden. Dafür stellt die Systemsteuerung durch ein Steuerfeld einen solchen Keilwinkel ein, dass die Gitterbeugungsordnung mit dem größten Beugungswirkungsgrad am nächsten zur Zielrichtung der aktuellen Augenposition liegt und variiert den Einfallswinkel der kohärenten Beleuchtung des Prismenfeldes so, dass diese Gitterbeugungsordnung den Abweichungsfehler von der Zielrichtung überwindet und die ausgehende interferenzfähige Wellenfeld zur gewünschten Augenposition führt.

[0020] Eine Alternative für ein kontinuierliches Nachführen besteht darin, dass mit diskreten Phasenschiebemittel im Lichtweg das Phasenübertragungsverhalten von benachbarte Prismen kontinuierlich geändert wird, und benachbarte Mikroprismen zu einer Großzelle Zelle zusammengefasst werden, um den Gitterpitch der Prismenzellen zu erhöhen. Mit einem geänderten Gitterpitch können geänderte Ablenkwinkel realisiert werden

[0021] Ein Nachteil von Elektrobenetzungszellen ist, dass diese mit höherem Keilwinkel ihre Transmission reduzieren, da ein höherer Anteil von Streulicht auftritt. Bei schrägem Einfall auf optischen Medien mit unterschiedlichem Brechungsindex transmittieren diese nur ein Teil der Lichts. Ist der Einfallswinkel größer, als der Winkel der Totalreflexion, so wird kein Licht transmittiert.

[0022] Im Mikroprisma entsteht mit zunehmender Größe des Keilwinkels Streulicht, welches die Funktion durch Mehrfachreflexion stört und die holographische Rekonstruktion negativ beeinflusst.

[0023] Gemäß der Erfindung sind die Seitenwänden der Prismenzellen so ausgeführt, dass dies als Lichtfalle reflektiertes Streulicht absorbieren.

[0024] In einer speziellen Ausführung der Erfindung sind die Seitenwände der variablen Prismenzellen hydrophobisch und elektrisch isolierend. Die hydrophobische Schicht stellt mit ihrer Oberflächenrauheit die notwendigen Benetzungseigenschaften bereit. Das Material, welches zu Beschichtung der Seitenwände verwendet wird kann in vorteilhafter Art und Weise absorbieren ausgeführt werden. Ein anderes Merkmal zum Realisieren von Absorption ist, die Beschichtung der Seitenwände mit einer hydrophobischen Schicht, die nur sehr dünn ist, d. h. beispielsweise nur einen Bruchteil der Wellenlänge λ , der Beleuchtung. Dieses ermöglicht es, zwischen Elektrode und hydrophobischer Ebene ein absorbierendes Material anzubringen, welches an sich beispielsweise nicht die notwendigen Benetzungseigenschaften hat. Letztere Ausführung hat auch den Vorteil, beispiels-

weise durch einen porösen Kunststoff bedingte mangelnde elektrische Isolation zu vermeiden.

[0025] Ein weiterer Nachteil von Elektrobenetzungszellen ist, dass diese in ihrer Funktion eine nicht zu vernachlässigende Abhängigkeit von der Temperatur aufweisen.

[0026] Der Brechungsindex von optischen Materialien ist von der Temperatur abhängig, d. h. $n = n(T)$. Öl weist beispielsweise eine Änderung des Brechungsindex auf, die berücksichtigt und kompensiert werden muss.

[0027] Eine Änderung der Temperatur der Prismenzellen bedingt eine Änderung des Brechungsindex n der Materialien, mit denen die Prismen gefüllt sind. Dies bewirkt eine Änderung des optischen Weges des Lichtes durch die Zellen. D. h., dass Änderungen der Temperatur der Prismenzellen das Phasenverhalten und den Ausbreitungswinkel des Lichtes ändern. Eine Änderung des Brechungsindex entspricht einer Änderung des Verlaufes der Phasenfunktion, die über den Querschnitt der jeweiligen Zellen des Gitters realisiert wird.

[0028] Wird ein Prismenfeld derart eingestellt, dass die Maximierung des Beugungswirkungsgrades für die Beugungsordnung erreicht wird, die den gewünschten Winkel der Nachführung realisiert, so bedingt beispielsweise eine Änderung der Temperatur um einige Grad eine Änderung der Beugungswirkungsgrade der einzelnen Beugungsordnungen derart, dass andere Beugungsordnungen, die nicht in Richtung der gewünschten Nachführung liegen eine erhöhte Intensität aufweisen, was zur Störung der idealen Hologrammrekonstruktion führt.

[0029] Um diesen Mangel zu kompensieren besitzt das Rekonstruktionssystem gemäß der Erfindung technische Mittel:

- um Änderungen der Temperatur, bzw. daraus resultierende Änderungen der Phase, d. h. der optischen Wegstrecke modulo 2π , zu erfassen und zu korrigieren.
- zum Messen der Temperatur T und/oder der Temperaturverteilung $T(x, y)$, um mittels Korrektortabellen, d. h. beispielsweise mittels eines bekannten Verlaufes der Funktion $n(T)$ eine Kompensation der Änderung der Brechungsindizes der in den Prismen verwendeten Materialien zu erreichen.
- zum Messen der Temperatur und/oder der Temperaturverteilung mit Hilfe von Temperatursensoren, welche sich in der Ebene der Prismenfelder befinden, mittels optisch abtastender, oder optisch abbildender IR-Sensoren, um die für den jeweiligen Aufbau hinreichende Messgenauigkeit der Funktion $T(x, y)$ realisieren zu können.

[0030] Im Panel integrierte Sensoren lassen sich beispielsweise leicht in Form von Widerständen realisieren, die im betrachteten Temperaturbereich einen ausreichend hohen Gradienten der Funktion $R(T)$ realisieren.

[0031] Neben der Messung der Temperatur oder Temperaturverteilung kann es auch vorteilhaft sein, die durch die Änderung der Temperatur bedingte Änderung des optischen Weges, d. h. die Änderung der Phase $\phi = \phi(T)$ zu messen und anhand dieser Messwerte eine Korrektur der einzustellenden Prismenwinkel vorzunehmen.

[0032] Vorteilhaft kann beispielsweise auch eine Wellenfront mittels eines Wellenfrontsensors gemessen werden und somit der Kontrolle der Rekonstruktionstreue dienen. Die Wellenfront kann seitlich aus dem Strahlengang geführt werden, so dass eine Messung/Kontrolle im Betrieb möglich ist.

[0033] Neben der Messung von Temperatur oder Temperaturverteilung kann auch vorteilhaft die durch die Änderung der Temperatur bedingte Änderung des optischen Weges, d. h. die Änderung der Phase über die Änderung einer Intensitätsverteilung $I = I(\phi(T))$ gemessen werden. D. h., dass geeignet gewählte Intensitätsverteilungen, die von einer Kamera erfasst werden, der aktiven Kontrolle der Funktionsweise der Rekonstruktion dienen.

[0034] Eine Intensitätsverteilung, die der Kontrolle der Rekonstruktionstreue dient, kann beispielsweise auch durch ein Gitter mit sehr geringem Beugungswirkungsgrad seitlich aus einer Ebene hinter dem SLM ausgekoppelt werden. In einem Projektionsaufbau kann eine seitliche Auskopplung beispielsweise mittels einer Planplatte erfolgen.

[0035] Die Korrektur kann aus einer Iteration bestehen. Mehrdeutigkeiten des Gleichungssystems können durch einen Satz zusätzlich eingeführter Variablen, d. h. beispielsweise mit $\phi_i(x, y)$ und/oder $I_i(x, y)$ beseitigt werden.

[0036] Eine direkte und einfache Möglichkeit der Messung der relativen Phase, die zwischen einzelnen Prismen und/oder SLM-Pixeln vorliegt, ist in einem System, welches mit kohärenter Strahlung beleuchtet wird einfach umzusetzen, indem die Interferenz einer, oder mehrerer Kugelwellen ausgewertet wird, die von den betrachteten Punkten ausgehen.

[0037] Kugelwellen, die von benachbarten Punkten ausgehen und sich kohärent überlagern erzeugen dabei im gemeinsamen Überlappungsbereich ein Interferenzmuster. Das beispielsweise vorliegende Streifenmuster kann direkt ausgewertet werden, indem die Lage der Streifen bestimmt wird, d. h. der relative Gangunterschied. Diese kann einfach mittels

Schwellwertbildung und Kantenfindung erfolgen. Die Streifenlage kann auch mittels Fourier Transformation (Trägerfrequenzverfahren) erfolgen. Die zusätzliche Einführung von beispielsweise 5 Phasen $\phi_i(x, y)$ mit $i = 1 \dots 5$, d. h. die Anwendung Phasen schiebender Interferometrie erlaubt dabei Messunsicherheiten $< 2\pi/200$, d. h. Messunsicherheiten in der Wegdifferenz $< \lambda/200$.

[0038] Die Bestimmung der relativen Phase zwischen mehreren Punkten kann zwischen den Bildsequenzen der Rekonstruktion erfolgen, d. h. beispielsweise dadurch, dass alle Punkte bis auf die zu messenden Punkte auf 0 gesetzt werden. Eine Kamera kann synchron die entstehende Intensitätsverteilung aufzeichnen. Bei Phase schiebender Interferometrie kann können auch Bildsequenzen zwischen den eingeführten Phasenverschiebungen liegen.

[0039] Innerhalb kurzer Zeit können beispielsweise genügend Punkte in ihrer relativen Phasenlage gemessen werden, so dass eine Phasen-Korrektur, die beispielsweise durch eine Temperaturänderung notwendig wird, erfolgen kann. Durch Integration der relativen Phasenlagen über die Fläche erhält man die Phasenverteilung der gesamten betrachteten Ebene, d. h. bis auf einen konstanten Anteil, der allgemein zu vernachlässigen ist. Ein holographisches Display, welches über Mittel der Auskopplung von Teilwellen verfügt stellt somit selbst ein Interferometer dar, mit dem Änderungen der Wellenfront ermittelt werden können.

[0040] Die Art und Weise der Messung der Phasenverteilung ist allgemein für Systeme von Vorteil, in denen Phase schiebende Elemente, beispielsweise zur Bilderzeugung, eingesetzt werden.

[0041] Ein weiteres Problem von Mikroprismen ist die Abhängigkeit ihrer Funktion von der anliegenden elektrischen Spannung

[0042] Der Kontaktwinkel und damit der Keilwinkel der Prismen ist von der angelegten Spannung, bzw. von der Spannungsdifferenz abhängig. Abschätzungen zeigen, dass eine Ansteuerung des Winkelbereiches der Flüssigprismen mit zumindest 10 Bit, d. h. mit $2^{10} = 1024$ Werten erfolgen sollte. Der Einfluss äußerer elektrischer Störfelder muss daher minimal gehalten werden. Diese wird gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung dadurch erreicht, dass die Mikroprismen elektrostatisch geschirmt werden. Dies ist auf der Ober- und Unterseite des Panels vorteilhaft mittels einer Beschichtung zu erreichen, die geeignet ist, Ladungen abzuführen und hinreichend transparent ist. Dies kann beispielsweise eine ITO-Beschichtung sein. Benachbarte Elektroden, die der Ansteuerung der Mikroprismen dienen müssen gegeneinander isoliert sein, wobei sich zwischen ihnen eine Elektrode befindet, die der Abschirmung

dient, d. h. beispielsweise auf $V = 0$ gesetzt ist.

[0043] Insbesondere sind Mikroprismen für eine zweidimensionale Ablenkung von anliegenden Spannungsdifferenzen abhängig. Da die Prismenkeilwinkel von den Spannungsdifferenzen abhängen, überlagern sich bei Prismenzellen, welche eine 2D-Ablenkung realisieren im Bereich der Kanten der Zellen durch Überlagerung Felder, welche durch die Steuerelektroden erzeugt werden.

[0044] Eine Reduzierung des Übersprechens bei einer 2D-Ablenkung wird dadurch erreicht, dass zwischen den Steuerelektroden zusätzliche Elektroden angebracht sind, die ein festes Potential, d. h. beispielsweise $V = 0$ realisieren.

[0045] Bei Materialien, die eine hohe Oberflächenenergie aufweisen, ergibt die Einführung von direkt, oder indirekt steuerbaren Elektroden (**Abb. 4:** $U_{ij}(x, y)$) zwischen den Elektroden, welche der 2D-Ablenkung dienen, die Möglichkeit, eine bis in den Randbereich der Zellen ebenere Grenzfläche zu realisieren. In den Ecken können gezielt Kontaktwinkel eingestellt werden, die ein gezieltes Gegensteuern von am Rand auftretenden Krümmungen ermöglichen.

[0046] Flüssigprismen können herstellungsbedingt nicht zu vernachlässigenden Phasenschwankungen aufweisen.

[0047] Die Befüllung von Feldern von Flüssigprismen mit zwei flüssigen Komponenten ist in Bezug auf schwankende Füllmengen deutlich anfälliger, als dies beispielsweise bei Phasenmodulatoren der Fall ist, die nur ein Flüssigkristall aufweisen. Eine Schwankung der Phase, ein Phasenoffset zwischen einzelnen Zellen beeinflusst die Rekonstruktion des Objektes negativ. Eine ungleichmäßige Befüllung der einzelnen Prismenzellen mit zwei optischen Medien führt zu ungleichmäßigen optischen Wegen des Lichtes durch die Zellen. D. h., dass Schwankungen im Befüllungsvolumen der einzelnen Komponenten der Prismenzellen Schwankungen in der Phase des durch die Prismen propagierenden Lichtes entsprechen. Ein Feld von ungleichmäßig befüllten Prismen realisiert ungleichen Phasenhüben.

[0048] Das Rekonstruktionssystem enthält deshalb technische Mittel, um Schwankungen in der durch einzelne Zellen realisierten Phase, d. h. optischen Wegstrecke modulo 2π , zu erfassen und diese bei der Kodierung der Hologramme zu berücksichtigen.

[0049] Zum Kompensieren von Phasenfehler werden Prismen in den Lichtweg Phasenschiebender Elemente geschaltet, die einen zusätzlichen Phasenhub zu realisieren, derart, dass ein Ausgleich der optischen Weglängen erfolgt.

[0050] Flüssigprismen können bei hohen Schaltfrequenzen Eigenresonanzen und allgemein Schwingungen der Grenzschicht aufweisen. Das heißt, bei hohen Schaltfrequenzen können Schwingungsmoden der Grenzfläche mit erhöhter Amplitude auftreten und die Prismen einen Phasenkeil beispielsweise nur im zeitlichen Mittel realisieren.

[0051] Eine Schwingungsdämpfung kann durch geeignete Form des Ansteuerpulses $U(t)$, bzw. $U_1(t)$ und $U_2(t)$ erreicht werden. In vorteilhafter Weise wird der Pulsverlauf nicht in Form einer Stufenfunktion gewählt, sondern derart, dass er

[0052] Zu einer maximalen Unterdrückung einer Resonanz führt. Die optimalen Pulsformen sind Materialabhängig und können mit Hilfe eines Modells, oder experimentell ermittelt werden. $I(t)$ kann auch geeignet gewählt, bzw. begrenzt werden.

[0053] Die Temperaturabhängigkeit kann in einer Korrekturtabelle abgelegt sein und in Abhängigkeit von der Temperatur zur Korrektur der Pulsformen herangezogen werden.

[0054] Flüssigprismen zeigen Alterungseffekte, zu denen chemische Reaktionen beitragen.

[0055] Hydrophobische Kunststoffe sind bei den betrachteten Schichtdicken < 500 nm leicht porös. Teflon quillt beispielsweise im Kontakt mit Öl auf, d. h. nimmt Öl und auch Wasser in sich auf. Dies entspricht einer reduzierten elektrischen Isolierung und erhöht in Abhängigkeit von der Schaltfrequenz die Verlustleistung, d. h. trägt zur Wärmeentwicklung in der Ebene der Flüssigprismen bei.

[0056] Aus Kosten- und Prozessgründen ist die Verwendung von Metallelektroden, beispielsweise aus Kupfer von Vorteil. Ein Kontakt zu Wasser und/oder Öl bewirkt dabei jedoch Korrosion. Zusätzlich eindiffundierende Ionen, d. h. beispielsweise Metallionen verändern die chemischen Potentiale und damit die Funktion der Flüssigprismen deutlich.

[0057] Die Aufbringung einer elektrisch isolierenden Schicht auf der Elektrode, die eine Diffusionsstopp-schicht darstellt, reduziert die Verlustleistung und vermeidet Oxidationsprozesse, die zwischen den Elektroden und den Flüssigkeiten der Prismen auftreten.

[0058] Der Nachteil poröser hydrophobischer Kunststoffbeschichtungen kann beseitigt werden, indem diese Kunststoffe vermieden werden. Hydrophobische Oberflächeneigenschaften können beispielsweise in Plasma-Prozessen erzeugt werden. So kann auch auf Siliziumoxid mittels eines modifizierten Ätzprozesses eine hydrophobische Oberfläche erzeugt werden, welche nicht die Nachteile von Kunst-

stoffbeschichtungen aufweist.

[0059] [Fig. 1](#) zeigt ein Reduzieren des Übersprechens bei einer 2D-Ablenkung wird dadurch erreicht, dass zwischen den Steuerelektroden zusätzliche Elektroden angebracht sind, die ein festes Potential, d. h. beispielsweise $V = 0$ realisieren.

[0060] [Fig. 2](#) zeigt das Einfügen von steuerbarer Elektroden, die der Realisierung planer Grenzflächen bis in die Randbereiche der Zelle dienen (AvO).

[0061] In einem Ausführungsbeispiel umfasst das Prismengitter Flüssigprismen mit einem Hohlkörper, welcher mit einer optisch transparenten Flüssigkeit gefüllt ist. Die Oberfläche der Flüssigkeit weist zu den Wänden des Hohlkörpers so genannte Kontaktwinkel auf. Die Kontaktwinkel der Flüssigkeit im Hohlkörper sind für gegebene, nicht zeitlich veränderliche Geometrien, Materialien und Bedingungen konstant und können mittels der Young-Gleichung angegeben werden. Durch Anlegen eines elektrischen Feldes z. B. im Dielektrikum zwischen Flüssigkeit und einer der Wände des Hohlkörpers oder zwischen zwei gegenüberliegenden Seitenwänden des Hohlkörpers erfolgt eine Veränderung der Gleichgewichtsbedingungen und die Kontaktwinkel der Flüssigkeit zu den Seitenwänden des Hohlkörpers verändern sich. Dieser so genannte Elektrobenetzungseffekt kann mittels der so genannten Lippmann-Gleichung beschrieben werden. Durch Variation eines oder mehrerer elektrischer Felder werden die Kontaktwinkel und damit die Grenzflächenform der Flüssigkeit verändert, wodurch die Ablenkung des transmittierten Lichtstrahls gemäß den Gesetzen der refraktiven Optik variiert wird.

[0062] Es kann sich beispielsweise um einen zylindrischen Hohlkörper mit rechteckiger Grundfläche handeln, dessen gegenüberliegende Seitenwände jeweils paarweise die Elektroden eines Kondensators darstellen. Zwischen Elektroden und elektrisch geerdeter Flüssigkeit sind elektrisch isolierende Schichten aufgebracht, die vorteilhaft hydrophile Eigenschaften aufweisen. Bei ausgeschalteten Kondensatoren stellt sich eine nahezu sphärische Grenzfläche der Flüssigkeit ein, wodurch nur lokal begrenzte Lichtstrahlen gemäß der lokalen Krümmung der Grenzfläche abgelenkt werden können.

[0063] Die Realisierung einer Prismenfunktion für ein ausgedehntes Lichtbündel erfordert einen konstanten Prismenwinkel des Flüssigprismas über dem gesamten Durchmesser des Lichtbündels. Um dies zu erreichen, werden die Kontaktwinkel an den gegenüberliegenden Elektroden unabhängig voneinander eingestellt, indem die gegenüberliegenden Elektroden mit entsprechenden Spannungen angesteuert werden. Beispielsweise können Spannungen angelegt werden, so dass gegenüberliegende Kontaktwinkel jeweils gleich 90° sind. In diesem Fall liegt keine

Prismenwirkung vor, das Flüssigprisma wirkt wie eine planparallele Platte. Ebenso gibt es Spannungspaare, um gegenüberliegende Kontaktwinkel zu erzeugen, die im Betrag ungleich sind, deren Summe jedoch gleich 180° ist. In diesem Fall wirkt das Element als Prisma. Die Elektroden sind vorzugsweise paarweise schaltbar, so dass sowohl Ablenkungen in x- als auch in y-Richtung möglich sind und dadurch das Sichtbarkeitsbereich 15 dem Betrachter in diesen Richtungen nachführbar ist.

[0064] In einem alternativen Ausführungsbeispiel kann ein Electrowetting-Flüssigprisma auch mehrere nicht mischbare, optisch transparente Flüssigkeiten in einem Hohlkörper aufweisen. An der Grenzfläche zwischen den Flüssigkeiten liegt ein Brechungsindexunterschied vor, wodurch eine Ablenkung des transmittierten Lichts erfolgt. Ein Vorteil in der Verwendung mehrerer, insbesondere zweier, Flüssigkeiten liegt darin, dass auf diese Weise eine Kapselung der Liquide möglich ist. D. h., der Hohlkörper ist vollständig geschlossen und völlig durch die Liquide ausgefüllt. Außerdem können bei einer Dichteanpassung der Flüssigkeiten Gravitätsprobleme vermieden werden. D. h., wenn beide Flüssigkeiten etwa die gleiche Dichte haben, verändert sich bei einer Lageänderung des Prismas, Schock oder Vibrationen etc. ihre Anordnung in dem Hohlkörper aufgrund von Gravitationskräften nicht oder nur unwesentlich. Auch kann die Grundfläche des Hohlkörpers eine andere sein, z. B. auch ein Sechsk- oder Achteck. Ferner ist denkbar, dass solche Flüssigprismen sozusagen in Reihe geschaltet werden, also in Ausbreitungsrichtung des Lichts hintereinander angeordnet sind.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- WO 2004/044659 [\[0004, 0008\]](#)
- WO 2006/119760 [\[0006\]](#)
- WO 2006/119920 [\[0011\]](#)
- WO 2004/099847 [\[0012\]](#)
- WO 2004/075526 [\[0013\]](#)

Patentansprüche

1. Holographisches Rekonstruktionssystem zum dreidimensionalen Rekonstruieren von Objektlichtpunkten einer Szene das enthält:

- räumliche Lichtmodulationsmittel, welche interferenzfähige Lichtwellen von Beleuchtungsmitteln mit wenigstens einem Videohologramm modulieren,
- optische Fokussiermittel, welche die modulierten Lichtwellen mit den rekonstruierten Objektlichtpunkten für mindestens eine Augenposition von Betrachteraugen fokussieren und
- von einer Systemsteuerung steuerbare elektro-optische Ablenkmittel, welche die fokussierten, modulierten Lichtwellen mit den rekonstruierten Objektlichtpunkten auf mindestens eine Augenposition ausrichten und bei Positionswechsel der Augenposition nachführen,

dadurch gekennzeichnet, dass das elektro-optische Ablenkmittel ein steuerbares optisches Oberflächen-Relief-Gitter mit separat ansteuerbaren Zellen, die in einem Raster mit einem Zellenpitch angeordnet sind und die unter einem elektrischen Steuerfeld das optische Beugungsverhalten innerhalb des Beugungsspektrum des Oberflächen-Relief-Gitters ändern.

2. Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 1, bei dem die Systemsteuerung durch das elektrische Steuerfeld für das Oberflächen-Relief-Gitters solche Keilwinkel einstellt, dass das Gitterbeugungsspektrum des Oberflächen-Relief-Gitters die Gitterbeugungsordnung mit dem größten Beugungswirkungsgrad am nächsten zur Zielrichtung der aktuellen Augenposition legt und bei dem die Systemsteuerung den Einfallswinkel der Beleuchtung variiert, um den den Abweichungsfehler dieser Gitterbeugungsordnung von der Zielrichtung zu minimieren, so dass die ausgehende interferenzfähige Wellenfeld zur gewünschten Augenposition führt.

3. Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 2, bei dem Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 1 bei dem der Abweichungsfehler der Gitterbeugungsordnung von der Zielrichtung durch bewegen der Lichtquellen erfolgt.

4. Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 2, bei dem die die Systemsteuerung die Ablenkung der interferenzfähigen Lichtwellen zwischen benachbarten Beugungsordnungen im Beugungsspektrum durch Zusammenfassen von mehreren Prismenzellen und einem einstellbaren Phasenraster variiert, um Ablenkwerte zwischen den Beugungsordnungen durch Reduzieren des Prioritätsintervalls einzustellen.

5. Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 1, bei dem das optische Oberflächen-Relief-Gitter eine Prismenzellenstruktur ist, welche in ei-

nem Raster Elektrobenetzungszellen enthält.

6. Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 1, bei dem die Seitenwänden der Prismenzellen so ausgeführt sind, dass sie reflektiertes Streulicht absorbieren.

7. Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 6, bei dem die Seitenwänden der Prismenzellen hydrophobisch und elektrisch isolierend sind.

8. Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 1, das Mittel zu elektrostatischen Schirmung zwischen den Zellen aufweist.

9. Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 8, das leitende transparente Mittel als Deckel Elektrobenetzungszellen aufweist.

10. Holographisches Rekonstruktionssystem nach Anspruch 1, das Mittel zu Temperaturkompensation der Zellenstruktur aufweist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

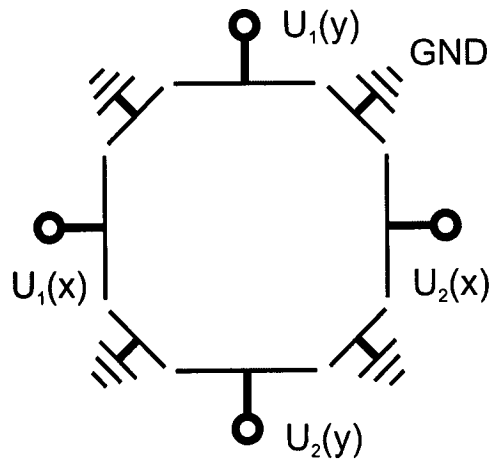


FIG. 1

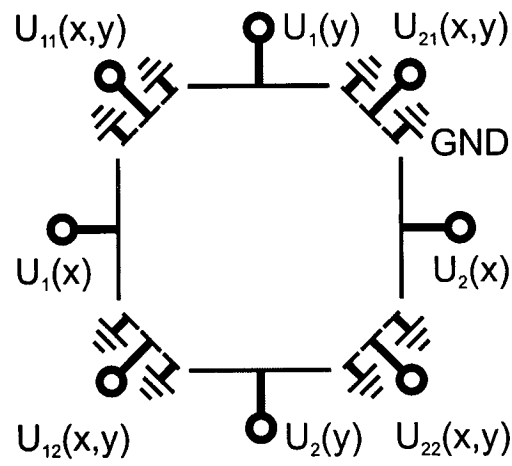


FIG. 2: