



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 000 116 A1** 2009.07.30

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 000 116.3**

(22) Anmeldetag: **21.01.2008**

(43) Offenlegungstag: **30.07.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G03H 1/08 (2006.01)**

**G02B 27/18 (2006.01)**

**G02B 27/42 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**SeeReal Technologies S.A., Munsbach, LU**

(74) Vertreter:

**Bradl, J., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 69198 Schriesheim**

(72) Erfinder:

**Reichelt, Stephan, Dr., 01279 Dresden, DE; Sahn, Hagen, 01259 Dresden, DE; Leister, Norbert, Dr., 01279 Dresden, DE**

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

**WO 2006/1 16 965 A1**

**DE 10 2006 004300 A1**

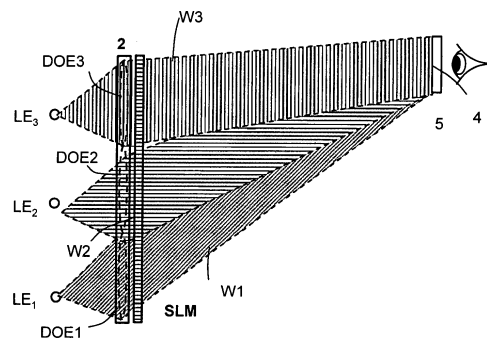
**WO 01/95 016 A1**

**WO 2007/1 31 817 A1**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

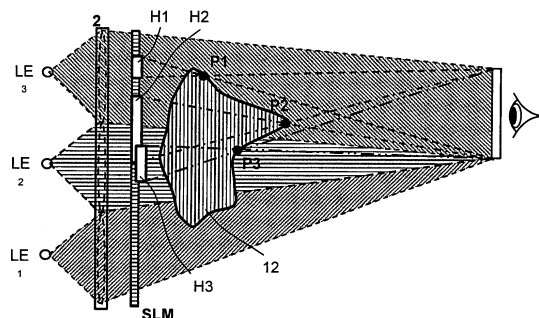
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungseinheit für ein holographisches Rekonstruktionssystem**



(57) Zusammenfassung: Eine Einrichtung zum Rekonstruieren von computergenerierten Videohologrammen hat die Aufgabe, in einem Display mit geringerer Bautiefe, niedrigerem Gewicht und reduziertem Aufwand bei der Herstellung aus bandbreitenlimitierten Hologrammen mit hoher Leuchtstärke und Bildqualität zu rekonstruieren.

Die Einrichtung weist ein Fokussmittelfeld (2) mit diffraktiven optischen Elementen (DOE 1...3) auf, welche kohärentes Licht nach Modulation durch eine mit einem Videohologramm kodierte Lichtmodulormatrix (SLM) zu einer Augenposition (4) lenken, wobei das Licht eine dreidimensionale Szene in dem vom Betrachterfenster und dem Lichtmodulator (SLM) aufgespannten Raum rekonstruiert.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungseinheit für ein holographisches Rekonstruktionssystem, das eine dreidimensionale Szene holographisch rekonstruiert. Das Rekonstruktionssystem enthält unter anderem Lichtmodulationsmittel und eine Beleuchtungseinheit. In der Beleuchtungseinheit emittieren Lichtmittel kohärentes Licht, welches über optische Fokussiermittel die Oberfläche der Lichtmodulationsmittel kohärent beleuchtet. Zum Rekonstruieren kalkuliert ein Signalprozessor beispielsweise aus der Bild- und Tiefeninformation einer Szene wenigstens ein Videohologramm und kodiert diese auf einer Modulatorzellenstruktur von räumlichen Lichtmodulationsmitteln. Beim Beleuchten der Lichtmodulationsmittel mit kohärentem Licht entsteht eine modulierte Wellenfront, welche vor den Augen wenigstens eines Betrachters eine dreidimensionale Szene holographisch rekonstruiert.

**[0002]** Als Lichtmodulationsmittel eignen sich beispielsweise Lichtmodulatoren mit einer Bildauflösungen ab mehreren Millionen Pixeln gut, die in konventionellen Bildwiedergabegeräten oder Projektoren für eine Video- und TV-Wiedergabe benutzt werden. Diese relativ geringe Auflösung kann eine gewünschte dreidimensionale Szene nur ausreichend rekonstruieren, wenn möglichst viele Pixel des Lichtmodulators nur den Anteil der Objektlichtpunkte der Szene rekonstruieren, der von einer Augenposition der Betrachteraugen aus in einem begrenzten Betrachterraum sichtbar ist. Im Gegensatz zu konventionellen Hologrammen kodiert der Signalprozessor dafür vorteilhaft für jeden Objektlichtpunkt jeweils nur ein räumlich begrenztes Teilhologramm in der Modulationsfläche der Lichtmodulationsmittel mit Hologramminformation. Das hat den Vorteil, dass das System nur solche Lichtpunkte rekonstruiert, welche aus der Perspektive einer Augenposition innerhalb eines Sichtbarkeitsbereichs wahrnehmbar sind.

**[0003]** Die Erfindung betrifft im Besonderen die optischen Fokussiermittel in der Beleuchtungseinheit zum Beleuchten der Oberfläche der Lichtmodulationsmittel mit einer kohärenten Lichtwellenfront für ein derartiges holographisches Rekonstruktionssystem.

**[0004]** Der Anmelder hat bereits in einigen Patentanmeldungen, wie beispielsweise in der internationalen Veröffentlichung WO 2004/044659 mit der Bezeichnung "Videohologramm und Einrichtung zur Rekonstruktion von Videohologrammen" ein holographisches Rekonstruktionssystem offenbart, für das die Beleuchtungseinheit gemäß der Erfindung vorteilhaft anwendbar ist.

**[0005]** Die Veröffentlichung WO 2004/044659 offenbart ein Rekonstruktionssystem, welches eine Be-

leuchtungseinheit mit Lichtmitteln und Fokussiermitteln sowie Lichtmodulationsmittel enthält. Bei diesem Rekonstruktionssystem ist das Fokussiermittel eine fokussierende Feldlinse. Das System ermöglicht mit einer für Videohologramme relativ geringen Modulatorauflösung 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. Die Lichtmodulationsmittel modulieren die fokussierte Lichtwelle mit der oben beschriebenen Kodierung, bei der für jeden Objektlichtpunkt nur eine begrenzte Modulationsfläche die Hologramminformation in Form eines Teilhologramms trägt. Der Sichtbarkeitsbereich entsteht als Ergebnis von Fourier-Transformationen der Teilhologramme, welche sich im Fokuspunkt der Lichtwelle, die sich zu einer Augenposition ausbreitet, überlagern. Die Fokussiermittel realisieren dabei optisch die erforderliche Fourier-Transformation. Die Teilhologramme werden beim Berechnen so auf einen Teil der gesamten Modulationsfläche reduziert, dass der Sichtbarkeitsbereich innerhalb einer Beugungsordnung liegt, welche durch die Rasterung der Lichtmodulationsmittel in Modulatorzellen entsteht.

**[0006]** Von Nachteil ist, dass die benötigte Lichtweite der fokussierenden Feldlinse dem Querschnitt der Lichtmodulationsmittel entsprechen muss. Dadurch wird die Ausführung des Systems sehr voluminös, material- und kostenaufwendig.

**[0007]** In der älteren internationalen Veröffentlichung WO 2006/119920 mit dem Titel 'Device for Holographic Reconstruction of Three-Dimensional Scenes' offenbart der Anmelder ein Gerät, das zum Betrachten der rekonstruierten Szene ebenfalls wenigsten einen gegenüber der Fläche des Lichtmodulators reduzierten Sichtbarkeitsbereich an einer Augenposition nutzt. Auch dieses Gerät kodiert für jeden sichtbaren Objektlichtpunkt ebenfalls ein Teilhologramm.

**[0008]** Anstelle einer einzelnen Lichtquelle enthält dieses Gerät ein Lichtquellenfeld mit interferenzfähigen untereinander nicht kohärenten Lichtelementen, welchen jeweils ein separates Fokussierelement zugeordnet ist. Die Fokussierelemente sind gemeinsam in einer Fokussiermatrix in Form eines Linsenfeldes mit Sammellinsen angeordnet. Jeweils ein Lichtelement des Lichtquellenfeldes wirkt gemeinsam mit dem zugeordneten Fokussierelement in der Fokussiermatrix wie eine elementare Beleuchtungseinheit, welche mit einer separaten Teilwelle jeweils nur einen Teilbereich der Oberfläche des Lichtmodulators beleuchtet. Jedes Fokussierelement bildet sein zugeordnetes Lichtelement an der Augenposition ab. Die Lichtelemente sind vorteilhaft Punktlichtquellen, die

jeweils eine Kugelwelle emittieren.

**[0009]** Die Größe, Form und Lage der Teilhologramme ist nicht mit der Größe, Form und Lage der durch die elementaren Beleuchtungseinheiten beleuchteten Teilbereiche auf der Oberfläche des Lichtmodulators identisch. Die Größe, und Lage der Teilhologramme wird im Wesentlichen durch die Position und technisch realisierbaren Größe des Sichtbarkeitsbereiches in Verbindung mit der axialen und lateralen Position des zu rekonstruierenden Objektlichtpunktes definiert. Die geometrische Struktur der Fokussiermatrix kann nach anderen technischen Parametern, wie erforderliche Anzahl von Lichtelementen, um eine gewünschte Lichtdichte zu erreichen, die erwünschten Brennweiten der Fokussiermittel und andere Parameter gewählt werden.

**[0010]** Ein wesentlicher Vorteil des bekannten Gerätes besteht darin, dass die interferenzfähigen Lichtelemente im Lichtquellenfeld jeweils beschiedene Bereiche des Lichtmodulators beleuchten, so dass die dabei entstehenden Teillichtwellen untereinander nicht kohärent sein müssen.

**[0011]** Eine holographische Rekonstruktion mit ausreichender Auflösung ist jedoch mit einer relativ geringen Auflösung des Lichtmodulators nur realisierbar, wenn die Ausdehnung des Sichtbarkeitsbereiches etwa auf die Größenordnung einer Augenpupille reduziert ist. Um das Rekonstruktionssystem komfortable nutzen zu können, muss das System deshalb ein Positionserkennungs- und Nachführsystem aufweisen, welches die Position des Sichtbarkeitsbereiches abhängig von der aktuellen Augenposition eines Betrachters anpasst und nachfährt.

**[0012]** In einer Ausführungsform der Beleuchtungseinheit können dafür die Lichtelemente gegenüber der Fokussiermatrix lateral, also senkrecht zur optischen Achse des Systems verschoben werden. Damit durchlaufen die separaten Wellen der elementaren Beleuchtungseinheiten abhängig von der Augenposition unter verschiedenen Ausbreitungswinkeln jeweils ihr entsprechendes Fokussierelement. Das gleiche Problem tritt auch bei einem System auf, welches zum Fokussieren eine Feldlinse nutzt.

**[0013]** Das Fokussiermittel realisiert in den bekannten Rekonstruktionssystemen verschiedene Funktionen, wie ein Kollimieren des kohärenten Lichts zu einer homogenen Lichtwelle, ein Abbilden der Lichtquellen auf eine Augenposition und ein optisches Transformieren der vom Lichtmodulator modulierten Lichtwelle zur Augenposition, wodurch an der Augenposition der oben beschriebenen Sichtbarkeitsbereich entsteht. Die Fokussiermittel der bekannten Rekonstruktionssysteme nutzen hierfür optische Komponenten, welche auf eine Brechung und/oder Reflexion des Lichtes beruhen. Deshalb enthalten derarti-

ge Fokussiermittel refraktive wie Linsen, Prismen, Spiegel oder Umlenkprismen.

**[0014]** Dieses hat den Nachteil, dass eine Beleuchtungseinheiten mit refraktiven Komponenten in den Fokussiermitteln einen erheblichen Anteil am Gesamtvolumen eines holographischen Rekonstruktionssystems belegt, wodurch das System nur recht sperrig realisiert werden kann.

**[0015]** Ein weiterer Nachteil von refraktiven Komponenten besteht darin, dass diese erhebliche Aberrationen bewirken, welche von der Größe der Apertur und dem Ausbreitungswinkeln abhängen. Wenn die von der Beleuchtungseinheit ausgehende modulierte Welle durch Aberrationen gestört ist, hat dieses unter anderem Fehler in der Koinzidenz der Sichtbarkeitsbereiche von verschiedenen Teilwellen zur Folge. Das heißt, die Sichtbarkeitsbereiche von verschiedenen Teilwellen der Beleuchtungseinrichtungen fallen an der Augenposition nicht aufeinander.

**[0016]** Ferner bewirken Aberrationen, dass rekonstruierte Punkte nicht an der Sollposition erscheinen und die geometrische optische Erscheinung der rekonstruierten Szene verzerrt ist.

**[0017]** Im Extremfall können die Fehlpositionen von rekonstruierten Lichtpunkten so groß sein, dass einzelne rekonstruierte Lichtpunkte vom Betrachterauge im Sichtbarkeitsbereich nicht wahrgenommen werden können.

**[0018]** Um eine Szene farbig zu rekonstruieren, werden beispielsweise Videohologramme mit kohärentem Licht verschiedener Wellenlängen beleuchtet, beispielsweise mit Lichtwellen der Grundfarben Rot, Grün und Blau. Refraktive Komponenten, welche die Beleuchtungslichtwellen in Rekonstruktionssystem fokussieren, weisen bekanntlich eine Abhängigkeit der Brechzahl von der Lichtwellenlänge beim Durchgang durch das Medium der optischen Komponenten auf. Die sogenannte Dispersionen, die von den verschiedenen benutzten Lichtwellenlänge abhängen, wie beispielsweise die Dispersion der Phasengeschwindigkeit oder der Gruppengeschwindigkeit bewirken verschiedene monochromatischen Aberrationen beim farbigen Rekonstruieren von Szenen und beim Betrachten der Rekonstruktion aus dem Sichtbarkeitsbereich.

**[0019]** Neben Beleuchtungen für Lichtmodulationsmittel mit refraktiven optischen Mitteln sind auch Beleuchtungen mit diffraktiven optischen Elementen bekannt. So ist beispielsweise aus dem US-Patentdokument 6,002,520 mit dem Titel: 'Illumination System for Creating a Desired Irradiance Profile Using Diffractive Optical Elements' ein Beleuchtungssystem bekannt, dass mit einer einzigen Lichtquelle ein gewünschtes Lichtverteilungsprofil für einen Teil einer

Oberfläche bereitstellt. Das System nutzt eine Abbildungsoptik zum Abbilden der Lichtquelle auf die Oberfläche und ein Array mit diffraktiven Elemente (DOE) zum Generieren des gewünschten Lichtverteilungsprofils.

**[0020]** Auch diese Beleuchtungseinheit benötigt einen hohen Aufwand an optischen Bauelementen und eine große Ausdehnung in Richtung der optischen Systemachse und damit ein großes Volumen, um die Oberfläche zu beleuchten. Es ist deshalb für die Anforderungen an ein kompaktes holographisches Rekonstruktionssystem wenig geeignet.

**[0021]** Im Sinne dieser Erfindung ist ein diffraktives optisches Element (DOE) ein transmissive oder reflektive Substrat, welches eine periodische Mikrostruktur trägt, um unter dem Einfluss von Lichtbeugung das kohärente Licht einer propagierenden Welle zu formen. In Folge unterschiedlicher Weglängen in der propagierenden Lichtwelle entstehen an periodischen Mikrostrukturen beim Ausbreiten von Lichtwellen örtliche Phasenmodulationen, wodurch sich ein Interferenzmuster herausbildet. Konstruktive bzw. destruktive Interferenzen ermöglichen bei einer entsprechenden Gestaltung der Mikrostruktur eines diffraktiven optischen Elements die Ausbreitung einer kohärenten Welle zielgerichtet zu definieren. Durch Beugung an einer zweidimensionalen periodischen Mikrostrukturen eines diffraktiven optischen Elementes mit Perioden im Bereich der Lichtwellenlänge werden die Lichtwellen grundsätzlich in verschiedenen Beugungsordnungen abgelenkt, d. h. die Lichtverteilung der ausgehenden Lichtwellen ist komplex. Die Auswahl einer entsprechenden periodischen Mikrostruktur, wie beispielsweise eine Mikroprismenstruktur, ein sogenanntes ‚Blazegitter‘, beeinflusst die propagierende Wellen zielgerichtet, Damit können unerwünschte Beugungsordnungen, welche Stör- und Streulicht im System hervorrufen und die Effizienz senken, unterdrückt werden.

**[0022]** Aus der US-Patentanmeldung US 55 89 982 mit dem Titel ‚Polychromatic Diffractive lens‘ ist außerdem eine diffraktive Linse für eine multispektrale Beleuchtung bekannt, welche unter anderem für eine RGB-Farbanzeigegerät mit Licht mit verschiedenen spektralen Lichtkomponenten nutzbar ist. Die Linse enthält eine diffraktive Mikrostruktur in Form einer Fresnel-Zonen-Struktur. Die Mikrostruktur weist eine Mehrzahl von Zonen auf, welche die Lichtkomponenten von verschiedenen Lichtwellenlängen in einen einzigen gemeinsamen Fokus in einem Raum richten. Die Struktur schiebt bei der in die Linse einfallenden Lichtwelle raumabhängig die Phase und beugt das Licht jeder spektralen Lichtkomponente auf dem Weg zum Fokus jeweils in eine andere Beugungsordnung.

**[0023]** Die vorliegende Erfindung hat die Aufgabe

für ein holographisches Rekonstruktionssystem eine Beleuchtungseinheit hoher Effizienz zum Beleuchten der Lichtmodulationsmittel zu schaffen, die kostengünstig und mit geringem materiellen Aufwand eine extrem geringe Bautiefe des holographisches Rekonstruktionssystems ermöglicht und die oben dargestellten Nachteile von Linsenfeldern mit refraktiven Linsen vermeidet.

**[0024]** Die Erfindung geht von einem holographischen Rekonstruktionssystem zum dreidimensionalen Rekonstruieren von Objektlichtpunkten einer Szene aus, das räumliche Lichtmodulationsmittel enthält, welche wenigstens eine interferenzfähige Lichtwelle von Beleuchtungsmitteln mit wenigstens einem Videohologramm modulieren. Optische Fokussiermittel fokussieren die modulierte Lichtwelle, welche holographisch rekonstruierte Objektlichtpunkte zu mindestens einer Augenposition von Betrachteraugen enthält. Das System kodiert die Lichtmodulationsmittel so, dass die Lichtwelle die Objektlichtpunkte der Szene unabhängig vom Ausrichten und Nachführen der Lichtwelle jeweils vor der Augenposition rekonstruieren.

**[0025]** Das Rekonstruktionssystem enthält ein optisches Fokussiermittelfeld, welches matrixförmig angeordnete Fokussierelemente aufweist, sowie ein Lichtquellenfeld, welches matrixförmig angeordnete Lichtelemente trägt, welche interferenzfähiges Licht emittieren. Die Fokussierelemente sind im Fokussiermittelfeld so angeordnet, dass jedem Fokussierelement mindestens ein Lichtelement aus dem Lichtquellenfeld zugeordnet ist.

**[0026]** Gemäß der Erfindung ist das Fokussiermittelfeld eine matrixförmige Anordnung von diffraktiven optischen Elementen (DOE) auf einem transmissiven oder reflektiven Substrat, welche jeweils einem Lichtelement aus dem Lichtquellenfeld zugeordnet sind, um das kohärente Licht des zugeordneten Lichtelementes jeweils zu einer interferenzfähigen Teillichtwelle, die zu einer Augenposition propagiert, zu formen, wobei die diffraktiven optischen Elemente ihre zugeordnete Teillichtwellen fokussieren und alle Teillichtwellen so ausrichten, dass diese nach dem Beleuchten von Teilbereich der Oberfläche der Modulationsmittel an der Augenposition in einem gemeinsamen Fokuspunkt koinzidieren. Dabei bildet jedes diffraktive optische Element aus Fokussiermittelfeld sein zugeordnetes Lichtelement aus dem Lichtquellenfeld an der Augenposition ab.

**[0027]** Vorteilhaft ist das Fokussiermittelfeld in der Nähe vor oder hinter den Lichtmodulationsmitteln des Rekonstruktionssystems angeordnet. Dadurch beleuchtet das Fokussiermittelfeld die gesamte Modulatorzellenfläche der Lichtmodulationsmittel und alle Modulatorzellen können zum Kodieren von Teilhologrammen benutzt werden, wodurch ein weiterer

Blickwinkel für den Betrachter entsteht.

**[0028]** Die Lichtelemente sind vorteilhaft Punktlichtquellen, die jeweils eine Kugelwelle emittieren.

**[0029]** Um die modulierte Lichtwelle auf mindestens eine Augenposition ausgerichteten und fokussierten Teillichtwellen bei Positionswechsel der aktuellen Augenposition nachzuführen, können vorteilhaft im Lichtweg der modulierten interferenzfähigen Lichtwellen nach den optischen Fokussiermitteln und nach den Modulationsmitteln optische Ablenkmittel liegen, welche wenigstens ein Feld mit einstellbaren Ablenkelementen enthalten.

**[0030]** Im Gegensatz zu bekannten Beleuchtungseinheiten mit diffraktiven optischen Elementen realisiert bei der vorliegenden Erfindung Fokussiermittelfeld mit matrixförmig angeordneten diffraktiven optischen Elementen (DOE) eines gekrümmten Linsenarrays für die Beleuchtung der Lichtmodulatormittel mit sehr geringen Abberationen. Jedes diffraktive optische Element (DOE) kollimiert die Kugellichtwellen des zugeordneten Lichtelementes, so dass eine ebene Lichtwelle die Modulationsmittel beleuchtet. Außerdem bildet jedes diffraktive optische Element sein zugeordnetes Lichtelement im Raum an einem gemeinsamen Punkt, an der erwünschten Augenposition ab. Alle diffraktiven optischen Elemente des Fokussiermittelfeldes realisieren gemeinsam, die für die holographische Rekonstruktion der Szene erforderliche Fourier-Transformation.

**[0031]** Da für ein farbiges holographisches Rekonstruieren mit allen gewünschten Farben nur eine Beleuchtung mit drei diskreten Lichtwellenlängen nötig ist, nutzt ein weiteres Merkmal der Erfindung die Abhängigkeit des optischen Verhaltens der diffraktiven optischen Elemente von den Benutzten diskreten Lichtwellenlängen. Gemäß der Erfindung sind für farbige Rekonstruktionen die periodischen Mikrostrukturen im Fokussiermittelfeld für den Betrieb mit verschiedenen Spektralwellenlängen dimensioniert und so ausgeführt, dass die von der Beleuchtungseinheit ausgehenden Wellen von Lichtkomponenten mit verschiedenen Lichtwellenlängen jeder Lichtwellenlänge jeweils über eine separate Beugungsordnung zum gewünschten Fokuspunkt gelangt. Die periodischen Mikrostruktur schieben bei der in die diffraktiven optischen Elemente einfallenden Lichtwelle raumabhängig die Phase und beugen das Licht jeder spektralen Lichtkomponente auf dem Weg zum Fokus jeweils in eine andere Beugungsordnung.

**[0032]** Diese Beugungsordnungen sind so ausgewählt, dass die Mikrostrukturen das Licht jeder Lichtkomponentenwellen als Fokuspunkt im Raum zu einem gemeinsamen Fokuspunkt führen.

**[0033]** Dieser Gemeinsame Punkt bildet die not-

wendige Augenposition zum Betrachten der Rekonstruierten Szene. Beim Rekonstruktionssystem, welches durch Fourier-Transformation einen Sichtbarkeitsbereich regeneriert, entsteht dort der Sichtbarkeitsbereich. Diese besondere Ausführung der Erfindung vermeidet Dispersionen.

**[0034]** Die diffraktiven optischen Elemente können auch Prismenelemente beinhalten, sogenannte Blazegitter, die exakt nur auf die Lichtwellenlängen für die benutzten Grundfarben eingestellt sind. So gelangen nur Lichtanteile der Lichtelemente in den gewünschten Beugungsordnungen zum Fokuspunkt und Lichtverluste und Störungen in Beugungsordnungen, die nicht zur Rekonstruktion beitragen können oder beim Rekonstruieren nicht erwünscht sind, werden verhindert bzw. unterdrückt.

**[0035]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung, ist Beleuchtungseinheit gemäß der Erfindung in einem holographischen Rekonstruktionssystem eingesetzt, das eine Systemsteuerung mit Positionserfassungsmitteln und eine Wellennachführung aufweist für ein Nachführen des Fokuspunktes und der modulierten Lichtwellen entsprechend der aktuellen Augenposition.

**[0036]** Um die Lage des gemeinsamen Fokuspunktes im Raum an die aktuelle Augenposition anzupassen, weist das Fokussiermittelfeld diffraktive optische Elemente (DOE) auf, bei dem die diffraktiven Eigenschaften der periodischen Mikrostrukturen diskret einstellbare Mikrozellen enthalten.

**[0037]** Um die modulierten, fokussierten Lichtwellen vor dem Rekonstruieren der Szene lateral auf die aktuelle Augenposition auszurichten, können die einstellbare Mikrozellen steuerbare optische Gitter mit Prismenfunktionen realisieren. Dafür eignen sich beispielsweise Anordnungen von Elektro-Benetzungszellen mit Zellgrößen von wenigen Mikrometern und kleiner.

**[0038]** Diffraktive optische Elemente sind für die Beleuchtung von Lichtmodulatormitteln die eine interferenzfähige Beleuchtung benötigen, wie holographischen Rekonstruktionssystemen besonders gut geeignet. Für farbige Rekonstruktionen mit diskreten Lichtwellenlängen sind diffraktive optische Elemente die verschiedene Beugungsordnungen nutzen mit relativ geringem Aufwand gut zu korrigieren. Da nur drei Lichtwellenlängen benötigt werden, können relativ geringe Beugungsordnungen ausgewählt werden, beispielsweise die fünfte, sechste und siebente Beugungsordnung. Dadurch wird eine Herstellung des Fokussiermittelfeldes vereinfacht.

**[0039]** Da sich bekanntlich mit diffraktiven optischen Elementen bekanntlich sowohl konventionelle optische Funktionalitäten (z. B. Linsen, Prismen) als

auch neuartige Strahlformungseigenschaften wie Computergenerierte Hologramme oder Freiform-Phasenfunktionen realisieren lassen, können mit den Elemente besser gleichzeitig mehrere optische Parameter korrigiert werden. Dadurch werden Fokussiereigenschaften erreicht, die mit refraktiven Mitteln nicht erreicht werden können. Die Mikrostruktur im DOE kann den Strahl durch Brechzahl- oder im vorliegenden Fall besonders durch Phasenmodulation formen. Im Gegensatz zu Gute Bauelemente erreichen dabei Wirkungsgrade von 80–99% und Transmissionsgrade von 95–99%.

**[0040]** Die Erfindung ermöglicht es vorteilhaft eine Beleuchtungseinheit für ein holographisches Rekonstruktionssystem herzustellen, welches eine sehr geringe Bautiefe des gesamten Systems gestattet. Die axiale Tiefe der Beleuchtungseinheit kann drastisch reduziert werden, da die realisierbare Bautiefe nur durch einen sinnvollen Kompromiss zwischen der Anzahl der Lichtelemente im quellen und Größe eines einzelnen DO-Elementes bestimmt wird.

**[0041]** Ein zum Rekonstruieren farbiger dreidimensionaler Szenen wichtiges Erfordernis ist, dass die Lichtelemente in den Beleuchtungsvorrichtungen in der Form von Punktlichtquellen ausgeführt werden, welche gleichzeitig oder sequentiell die für eine farbige Rekonstruktion erforderlichen drei Grundfarben in einem Ursprungspunkt emittieren. Derartige farbige Punktlichtquellen können beispielsweise als Enden von Faserbündeln realisiert werden.

**[0042]** Die Lichtelemente können die Fokussierelemente direkt oder durch Umlenkmittel wie Lichtwellenleiter beleuchten.

**[0043]** Um definierte auf Oberflächen mit Stufenhöhen und lateralen Ausdehnungen unter 1  $\mu\text{m}$  herzustellen sind eine Vielzahl von Verfahren bekannt, wie beispielsweise photolithographischen Methoden oder Laser-, Elektronen-, Ionenstrahl-Verfahren oder Einkorn-Diamant-Drehen. Außerdem können Mikrostrukturen mit Hilfe eines Masters hergestellt werden, der danach in einem Massen-Replikationsprozess kostengünstig abgeformt wird, oder die direkte photolithographische Fertigung ohne Master.

**[0044]** Die Erfindung soll an Hand einer Anwendung in einem Ausführungsbeispiel erläutert werden. Dazu zeigen:

**[0045]** [Fig. 1](#) den Prinzipaufbau eines holographischen Rekonstruktionssystems in dem die Beleuchtungseinheit gemäß der Erfindung benutzt wird. Die wesentliche Funktion des Rekonstruktionssystems hat der Anmelder bereits in der internationalen Patentanmeldung WO 2006/119920 mit dem Titel 'Device for Holographic Reconstruction of Three-Dimensional Scenes' offenbart. Die Beleuchtungseinheit

gemäß der Erfindung zeigt in der Zeichnung des beispielhaft nur drei Lichtelemente LE1 ... LE3 eines in der Praxis zweidimensional ausgeführten Lichtquellenfeldes, welches matrixförmig angeordnete Lichtelemente LE1 ... LEn trägt. Jedem Lichtelemente LEm ist ein diffraktive optische Element DOE als Fokussierelement DOE1 ... DOE3 in einem Fokussiermittelfeld **2** zugeordnet. Die Fokussierelemente DOE1 ... DOE3 bilden die Lichtelemente LE1 ... LE3 durch die nichtdargestellten Modulatorzellen eines räumlichen Lichtmodulators SLM auf einen gemeinsamen Fokuspunkt **4** ab. Der Fokuspunkt **4** stellt gleichzeitig eine Augenposition des Auges eines Betrachters dar. Beim Abbilden beleuchten die interferenzfähigen Wellen Teilbereiche des Lichtmodulators SLM, der mit den in [Fig. 2](#) beispielhaft gezeigten Teilhologrammen H1 ... H3 von Objektlichtpunkten P1 ... P3 einer zu rekonstruierenden Szene kodiert ist. In Folge der Fourier-Transformation der Teilhologrammen H1 ... H3, welche die Fokussierelemente DOE1 ... DOE3 von den, durch die Teillichtwellen W1 ... W3 durchleuchteten und kodierten Lichtmodulatorbereiche realisieren entsteht ein Sichtbarkeitsbereich **5** am Fokuspunkt **4**. Die Ausdehnung des Sichtbarkeitsbereichs **5** ist durch die Ausdehnung der Teilhologrammen H1 ... H3 definiert.

**[0046]** Das angefügte Diagramm ([Fig. 3](#)) zeigt ein Design eines einzelnen diffraktive optische Elementes für Licht mit den Wellenlängen  $\lambda_{\text{Blau}} = 450 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{\text{Grün}} = 525 \text{ nm}$  und  $\lambda_{\text{Rot}} = 630 \text{ nm}$ . Das Diagramm zeigt, dass eine einheitliche synthetische Entwurfswellenlänge für die Mikrostruktur von  $\lambda_{\text{Syn}} = 3150 \text{ nm}$  für Rot in der fünften Beugungsordnung, für Grün in der sechsten und für Blau in der siebten Beugungsordnung gewählt werden kann.

**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, 0005]
- WO 2006/119920 [0007, 0045]
- US 6002520 [0019]

**Patentansprüche**

1. Beleuchtungseinheit für räumliche Lichtmodulationsmittel eines holographischen Rekonstruktionssystems zum dreidimensionalen Rekonstruieren von Objektlichtpunkten einer Szene, bei dem die räumlichen Lichtmodulationsmittel interferenzfähige Lichtwellen von Lichtmitteln mit wenigstens einem Videohologramm modulieren, welche ein Fokussiermittelfeld enthält, die matrixförmig angeordnete Fokussierelemente aufweist und die modulierten Lichtwellen mit den rekonstruierten Objektlichtpunkten für mindestens eine Augenposition von Betrachteraugen fokussieren, sowie außerdem ein Lichtquellenfeld enthält, welches matrixförmig angeordnete Lichtelemente trägt, die interferenzfähiges Licht emittieren, wobei die Fokussierelemente im Fokussiermittelfeld so angeordnet sind, dass jedem Fokussierelement mindestens ein Lichtelement aus dem Lichtquellenfeld zugeordnet ist, gekennzeichnet durch ein Fokussiermittelfeld, welches eine matrixförmige Anordnung von diffraktiven optischen Elementen (DOE) auf einem transmissiven oder reflektiven Substrat ist und jedes diffraktive Element jeweils einem Lichtelement aus dem Lichtquellenfeld zugeordnet ist, um das kohärente Licht des zugeordneten Lichtelementes jeweils zu einer interferenzfähigen Teillichtwelle, die zu einer Augenposition propagiert, zu formen, wobei die diffraktiven optischen Elemente ihre zugeordnete Teillichtwellen fokussieren und alle Teillichtwellen so ausrichten, dass diese nach dem Beleuchten von Teilbereichen der Oberfläche der Modulationsmittel an der Augenposition in einem gemeinsamen Fokuspunkt koinzidieren.

2. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, bei der die diffraktiven optischen Elemente in einer Ebene angeordnet sind und die Funktion eines gewölbten Linsenarrays realisieren.

3. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, für ein farbiges holographisches Rekonstruieren mit Videohologrammen, die mit kohärentem Licht beleuchtet werden, welches verschiedene diskrete Spektralwellenlängen enthält, bei dem die diffraktiven optischen Elementen (DOE) für eine multispektrale Lichtbeugung ausgelegt sind und für die Ausbreitung der Wellen für jede Spektralwellenlänge in eine separate Beugungsordnung nutzen.

4. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 3, welche das wellenlängen-abhängige optische Verhalten der diffraktiven optischen Elemente so nutzt, dass beim Formen der Lichtwellen der Lichtkomponenten für jede Lichtwellenlänge eine solche separate Beugungsordnung ausgewählt wird, bei der die Mikrostrukturen das Licht jeder Lichtkomponentenwellen als Fokuspunkt im Raum zu einem gemeinsamen Fokuspunkt führen.

5. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 3, welche Prismenelemente in der periodischen Mikrostruktur nutzt, die so angeordnet sind, das Licht von Beugungsordnungen, die die Wellen nicht zur Augenposition leiten, unterdrückt werden.

6. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, welche in einem holographischen Rekonstruktionssystem eingesetzt ist, das eine Systemsteuerung mit Positionserfassungsmitteln und eine Wellennachführung aufweist für ein Nachführen des Fokuspunktes und der modulierten Lichtwellen entsprechend der aktuellen Augenposition.

7. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 6, welche ein Fokussiermittelfeld, mit diffraktiven optischen Elementen (DOE) aufweist, bei dem die diffraktiven Eigenschaften der periodischen Mikrostrukturen diskret einstellbare Mikrozellen enthalten, um die Fokussierwert abhängig von der Augenposition zu ändern.

8. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 6, bei dem die einstellbaren Mikrozellen Prismenfunktionen für ein steuerbares optisches Gitter realisieren, um die modulierten, fokussierten und auf eine achsen-nahe Basisposition gerichtete Lichtwellen vor dem Rekonstruieren der Szene lateral auf die aktuelle Augenposition auszurichten.

9. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, bei dem die einstellbaren Mikrozellen Elektro-Benetzungszellen sind mit Querschnitten vom Mehrfachen der Lichtwellenlänge, so dass durch Phasenänderungen die Ausbreitungsparameter der Lichtwellen zum Beleuchten der Lichtmodulationsmittel verändert werden können.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

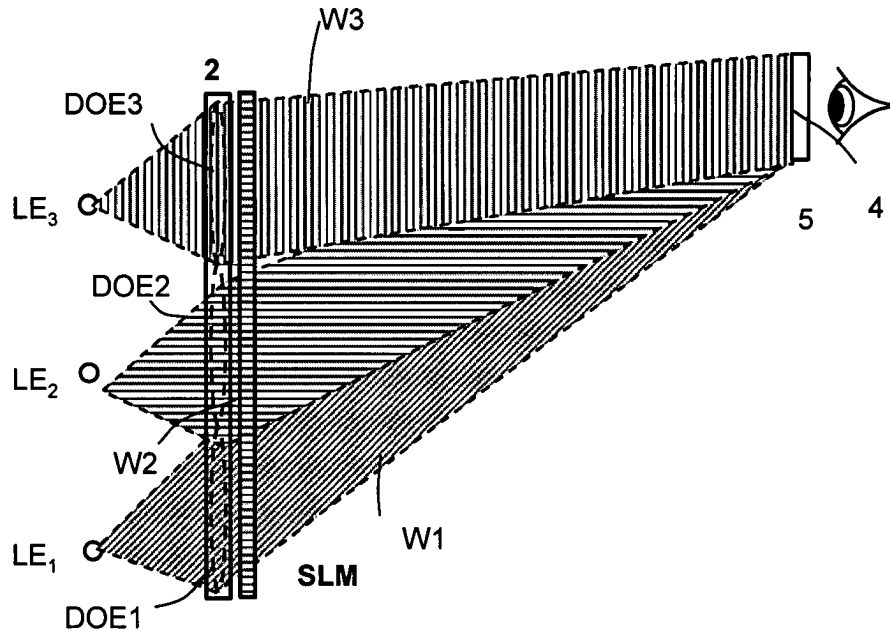


FIG. 1

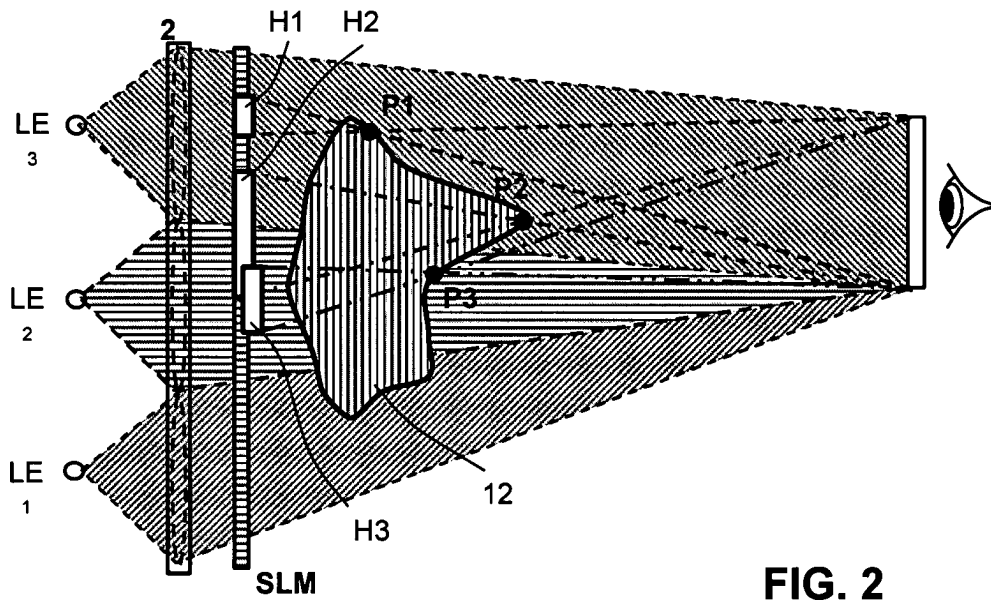
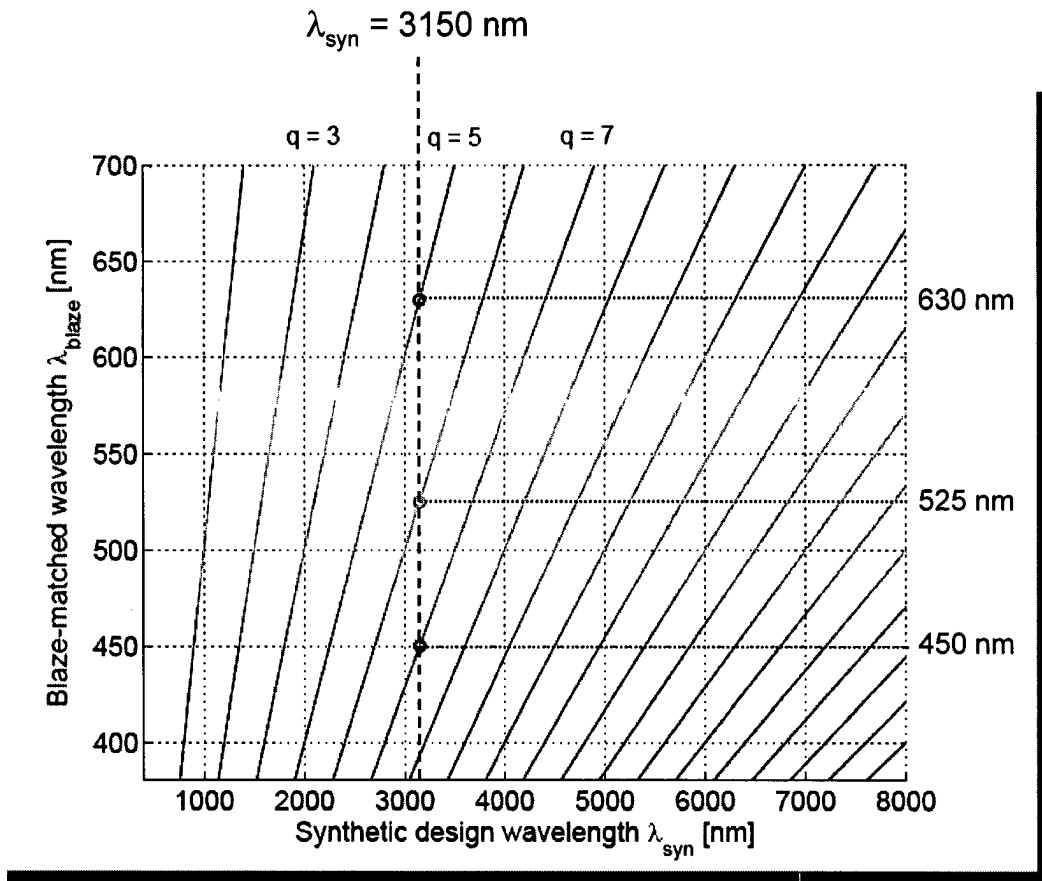


FIG. 2



*Design of a multi-order DOE*

**FIG. 3**

•Phase function of the multi-order Fresnel zone lens (FZL)

•Synthetic design wavelength:  
 $\lambda_{\text{syn}} = 3150 \text{ nm}$ , i.e.

- $-\lambda_B = 450 \text{ nm}$  @  $q = 7$
- $-\lambda_G = 525 \text{ nm}$  @  $q = 6$
- $-\lambda_R = 630 \text{ nm}$  @  $q = 5$