



(10) **DE 10 2012 215 540 B4** 2020.04.23

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 215 540.6**
 (22) Anmeldetag: **31.08.2012**
 (43) Offenlegungstag: **06.03.2014**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **23.04.2020**

(51) Int Cl.: **G03H 1/20 (2006.01)**
G02B 26/00 (2006.01)
G02F 1/13 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Bundesdruckerei GmbH, 10969 Berlin, DE

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Bressel und Partner mbB, 10785
 Berlin, DE**

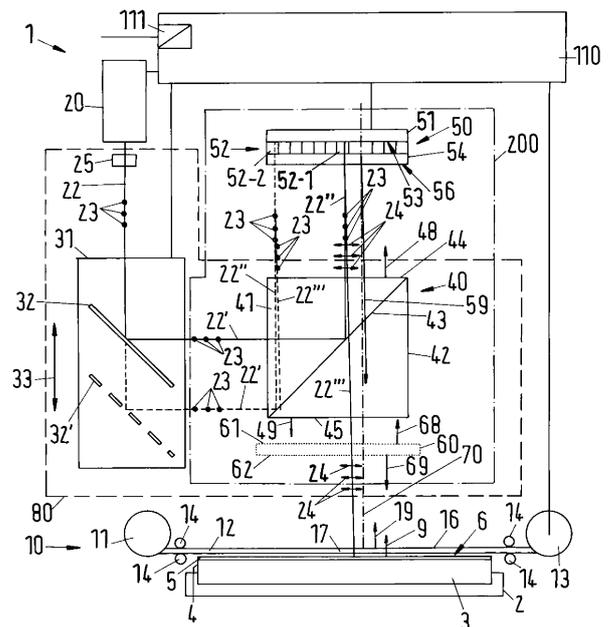
(72) Erfinder:
**Leopold, André, Dr., 10119 Berlin, DE; Gahlbeck,
 Jeffrey, 15517 Fürstenwalde, DE; Märtens, Detlef,
 13599 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 061 220	A1
DE	10 2007 042 385	A1
DE	10 2007 042 386	A1
GB	2 424 080	A
US	5 805 749	A

(54) Bezeichnung: **Individualisierungseinrichtung und Belichtungsanordnung für Hologramme**

(57) Hauptanspruch: Individualisierungseinrichtung (200), die ausgebildet ist, Licht (22) einer Lichtquelle (20) aus einer Empfangsrichtung zu empfangen und räumlich moduliertes Licht (22''') unter einer Ausgaberrichtung für eine Hologrammbelichtung auszugeben, umfassend einen räumlichen Lichtmodulator (50), und eine Strahlführungsoptik (80), um das Licht (22) der Lichtquelle (20) auf den räumlichen Lichtmodulator (50) zu führen und das von dem räumlichen Lichtmodulator (50) modulierte Licht (22''') wegzuführen, dadurch gekennzeichnet, dass eine Oberflächennormale (59) des räumlichen Lichtmodulators (50) zumindest gegenüber einer Oberflächennormale einer ersten Grenzfläche (44) einer ersten Komponente (40) der Strahlführungsoptik (80) verkippbar ist, die das modulierte Licht (22''') nach der Modulation an dem räumlichen Lichtmodulator (50) passiert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Individualisierungseinrichtung und eine Belichtungsvorrichtung für Hologramme, insbesondere eine Belichtungsvorrichtung, um Hologramme im sogenannten Kontaktkopierverfahren herzustellen.

[0002] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, Hologramme als Sicherheitselemente in Sicherheitsdokumente oder Wertdokumente zu integrieren. Sicherheitselemente sind solche Entitäten, welche mindestens ein Merkmal aufweisen, welches ein unautorisiertes Duplizieren, Nachahmen und/oder Verfälschen eines Gegenstands erschwert, in welchen das Sicherheitselement integriert ist. Hologramme werden als Sicherheitselemente beispielsweise in Reisepässen oder Personalausweisen verwendet. Sie werden jedoch auch in Banknoten, Führerscheinen, Visa, anderen Wertzeichen, Etiketten oder Tickets, Kreditkarten, Bankkarten, Telefonkarten oder Ähnlichem eingesetzt.

[0003] Eine besondere Gruppe von Hologrammen stellen Volumen hologramme dar. Bei einem Volumen hologramm ist eine beugende Struktur des Hologramms im Volumen des holografischen Aufzeichnungsmaterials gespeichert. Als Aufzeichnungsmaterialien für Volumen hologramme werden in Wert- und/oder Sicherheitsdokumenten in der Regel holografische Filme eingesetzt. Dies sind Filme, die geeignet sind, Interferenzstrukturen zu speichern, deren charakteristische Abmessungen im Bereich der Lichtwellenlänge des Lichts liegen, welches zur Aufzeichnung bzw. Rekonstruktion des Hologramms verwendet wird.

[0004] Bei einem Kontaktkopierverfahren wird der holografische Film vor einem Master angeordnet, in dem beugende Strukturen ausgebildet sind, die in den holografischen Film „übertragen“ werden sollen. Die beugenden Strukturen des Masters werden bei diesem Verfahren somit in den holografischen Film kopiert. Hierfür wird kohärentes Licht durch den holografischen Film, der in unmittelbarer Nähe vor dem Master oder in Kontakt mit dem Master vor diesem angeordnet ist, auf den Master gestrahlt. Die beugenden Strukturen in dem Master beugen das Licht so, dass das gebeugte Licht in den holografischen Film zurückgestrahlt wird. Dort interferiert dieses mit dem kohärenten Licht, welches zur Beleuchtung des Masters genutzt wird. In dem holografischen Film bildet sich somit eine Interferenzstruktur aus, welche durch das an dem Master gebeugte Licht festgelegt ist. Wird der holografische Film entwickelt und rekonstruiert, so gleicht die Rekonstruktion der, die beim Beleuchten des Masters zu beobachten ist. In dem holografischen Film wird ein Hologramm gespeichert, welches auch als Denisjuk-Hologramm bezeichnet wird und ein Volumenreflexionshologramm ist. Es versteht

sich, dass das eingestrahlte Licht eine geeignete Wellenlänge(oder geeignete Wellenlängen) und eine geeignete Einstrahlrichtung (oder geeignete Einstrahlrichtungen) aufweisen muss, so dass eine Beugung an der Beugungsstruktur in der gewünschten Weise erfolgt.

[0005] Die beispielhafte Herstellung eines Masters wie auch das Kontaktkopierverfahren sind beispielsweise in der EP 0 896 260 A2 beschrieben. Der Master umfasst bei der dort beschriebenen Ausführungsform als Beugungsstruktur ein Volumenreflexionshologramm einer Mattscheibe. Wird während des Kontaktkopierverfahrens das zum Belichten verwendete kohärente Licht räumlich moduliert, so kann hierüber die in der räumlichen Modulation enthaltene Information, beispielsweise ein Gesichtsbild, in das einbelichtete Hologramm eingespeichert werden. Je nach räumlicher Modulation wird ein Bereich der Mattscheibe beim Belichten rekonstruiert und somit in das in dem holografischen Film ausgebildete Hologramm einbelichtet oder nicht.

[0006] Aus dem Stand der Technik sind unterschiedliche räumliche Lichtmodulatoren bekannt. Beispielsweise können hierfür sogenannte Digital Micromirror Devices (DMD), welche gesteuerte Mikrospiegel umfassen, verwendet werden. Ebenso ist es möglich, das kohärente Licht zu polarisieren und Flüssigkristallzellen zur gesteuerten Modulation des Lichts zu verwenden. Flüssigkristallzellen haben die Eigenschaft, durchtretendes Licht abhängig von einem Schaltzustand unterschiedlich zu verändern. Über einen nachgeschalteten Polarisationsfilter oder polarisationsabhängigen Spiegel oder Strahlteiler kann somit abhängig von dem Schaltzustand einer Flüssigkristallzelle die Lichtausbreitung beeinflusst werden. Wird eine Vielzahl von Flüssigkristallzellen, wie beispielsweise in einem LCD-Display verwendet, so kann ein aufgeweiteter Lichtstrahl zeitgleich in seiner räumlichen Ausdehnung unterschiedlich räumlich moduliert werden.

[0007] Als besonders geeignet neben DMD-Modulatoren haben sich sogenannte Liquid-Crystalon-Silicon-Modulatoren (LCoS-Modulatoren) erwiesen, bei denen die Flüssigkristallzellen vor einer Siliziumschicht angeordnet sind, welche das durch die Flüssigkristallzellen tretende Licht durch diese zurückreflektiert. Abhängig vom Schaltzustand wird erneut der Polarisationszustand des Lichts in den einzelnen Zellen unterschiedlich beeinflusst. Das zurückgestrahlte Licht ist somit räumlich hinsichtlich der Polarisationsmoduliert. Wird dieses über einen polarisationsabhängigen Strahlteiler oder einen Polarisationsfilter geführt, so wird der austretende Lichtstrahl auch hinsichtlich seiner Intensität moduliert. Der Lichtanteil, der einen vorgegebenen Polarisationszustand aufweist, kann den Strahlteiler oder den Polarisationsfilter passieren, der Anteil des Lichts, der einen zu

dem vorgegebenen Polarisationszustand orthogonalen Polarisationszustand aufweist, wird hingegen absorbiert oder abgelenkt.

[0008] Als Sicherheitselemente von Sicherheits- oder Wertdokumenten sind Volumen hologrammen besonders geeignet, die sich bei lotrechter Betrachtung des belichteten und entwickelten holografischen Films verifizieren lassen. Eine Einstrahlung des Rekonstruktionslichts erfolgt hierbei vorzugsweise unter einem spitzen Winkel, beispielsweise 45° zum Lot. Der Winkel zwischen der Einstrahlrichtung des Rekonstruktionslichts und der Ausfallrichtung des an dem erzeugten Volumen hologramm gebeugten Lichts, welches die Information des Hologramms rekonstruiert, wird im Wesentlichen bei der Herstellung des Masters festgelegt. Um beispielsweise ein Gesichtsbild einer Person, in deren Ausweisdokument das hergestellte Hologramm integriert werden soll, in das Hologramm einzubelichten, ist es vorteilhaft, wenn der LCoS-Modulator parallel zu dem holografischen Film und dem Master orientiert angeordnet wird. Über einen zwischen dem LCoS-Modulator und dem Film angeordneten polarisationsabhängigen Strahlteiler wird polarisiertes Licht zunächst an dem Strahlteiler auf den LCoS-Modulator reflektiert. Dort wird das kohärente Licht hinsichtlich seiner Polarisation räumlich moduliert und zurückreflektiert. Die Anteile des Lichts, deren Polarisationszustand um 90° geändert ist, d.h., die in den orthogonalen Polarisationszustand überführt sind, können den polarisationsabhängigen Strahlteiler ungehindert zu dem Film und dem dahinter angeordneten Master passieren. Die Anteile des Lichts, deren Polarisationszustand nicht verändert ist, werden hingegen an dem Strahlteiler reflektiert und gelangen nicht auf den Film. Die Beugungsstruktur des Masters wird somit pixelweise kopiert.

[0009] Die DE 10 2006 061 220 A1 beschreibt ein holographisches Sicherheitselement mit einem Holographie Recordable Film, in welchem ein mehrfarbiges zweidimensionales Muster in Form eines Hologramms gebildet ist, wobei das Muster durch Pixel gebildet ist, wobei jedem Pixel ausschließlich eine von mehreren Farben zugeordnet ist, und wobei ein jedes Pixel entweder die Farbe oder keine Farbe aufweisen kann. Ferner sind ein Sicherheits- und/oder Wertdokument mit einem solchen Sicherheitselement, sowie Verfahren zu deren Herstellung beschrieben.

[0010] Die DE 10 2007 042 386 A1 beschreibt ein Verfahren zum Herstellen farbiger individualisierter Hologramme sowie eine Vorrichtung zum Herstellen von individualisierten Hologrammen. Bei dem Verfahren ist vorgesehen, dass Licht mehrerer unterschiedlicher Farben erzeugt wird, das Licht farbgetrennt individuell räumlich moduliert wird, das modulierte Licht optisch so geführt wird, dass das Licht an einem

holografischen Master zumindest teilweise gebeugt und/oder reflektiert wird und in dem einen holografischen Aufzeichnungsmaterial so mit dem modulierten nicht gebeugten und/oder reflektierten Licht überlagert wird und das mehrfarbige individualisierte Hologramm aufgenommen wird, wobei das Licht mittels mehrerer Spatial Light Modulatoren farbgetrennt zeitgleich moduliert wird und die mehreren einfarbigen modulierten Lichtstrahlen vor dem Beugen und/oder Reflektieren an dem holografischen Master zu einem mehrfarbigen farbgetrennt individuell modulierten Belichtungsstrahl kollinear zusammengeführt werden, so dass jedem der Pixel des individualisierten Hologramms genau eine der mehreren Farben zugeordnet ist.

[0011] Die DE 10 2007 042 385 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen eines individualisierten Hologramms. Ein Lichtstrahl wird in einem Spatial Light Modulator individuell moduliert und so geführt, dass zumindest ein Teil des individuell modulierten Lichtstrahls an dem holografischen Master gebeugt und/oder reflektiert wird und in dem holografischen Aufzeichnungsmaterial ein das individualisierte Hologramm repräsentierendes Interferenzmuster gebildet wird, wobei der individuell modulierte Lichtstrahl relativ zu dem holografischen Aufzeichnungsmaterial und dem holografischen Master bewegt wird, um den gesamten holografischen Master abzuscannen, und wobei das Aufzeichnungsmaterial anliegend an eine zylindrische Trommel oder ein zylindrisches Trommelsegment angeordnet wird und die Trommel beim Abtasten des holografischen Masters um eine Trommelachse der Trommel oder des Trommelsegments gedreht wird.

[0012] Bei der Herstellung sehr hoch aufgelöster, über einen räumlichen Lichtmodulator individualisierter oder personalisierter Hologramme hat es sich gezeigt, dass Pixelfehler in den im Kontaktkopierverfahren hergestellten Volumen hologrammen auftreten. Dies bedeutet, dass einzelne Pixel Fehlbelichtungen aufweisen. Insbesondere bei einer Ausbildung von „Graustufen“-Abbildungen treten solche Fehlbelichtungen auf. Bei Volumen hologrammen werden als Graustufen die unterschiedlichen Helligkeitswerte bezeichnet, die bei der Rekonstruktion des Volumen hologramms auftreten, wenn das Hologramm beleuchtet wird und in dem Hologramm eine bis auf die Helligkeitsvariationen flächig homogene Information, beispielsweise ein Abbild einer Streu- oder Mattscheibe, gespeichert ist. Die unterschiedlichen Helligkeitswerte gehen mit Variationen der Beugungseffizienz einher. Bei der Herstellung hoch aufgelöster individualisierter oder personalisierter Hologramme gemäß dem Stand der Technik entstehen somit Pixel, die entgegen der Erwartung zu stark belichtet sind und Pixel, die entgegen der Erwartung unterbelichtet sind. Diese verfälschen die individuelle Infor-

mation, die in das Volumenhologramm gespeichert wird.

[0013] Der Erfindung liegt somit das technische Problem zugrunde, eine verbesserte Individualisierungseinrichtung und eine verbesserte Belichtungsvorrichtung für Hologramme zu schaffen, mit denen Hologramme belichtet werden können, ohne dass unbeabsichtigte Fehlbelichtungen auftreten.

[0014] Der Erfindung liegt die neue Erkenntnis zugrunde, dass die einzelnen Fehlbelichtungen vermutlich auf Interferenzeffekte zurückzuführen sind. Diese sind zwar nicht unmittelbar zu beobachten, äußern sich jedoch in den Fehlbelichtungen einzelner Pixel. Da das Ansprechverhalten des holografischen Films nicht linear ist sondern sprunghaft oberhalb einer Ansprechschwelle einsetzt, führen bereits geringe Intensitätsschwankungen im Bereich der Ansprechschwelle dazu, dass ein Pixel falsch belichtet ist. Bei holografischen Filmen ist der Energiedosisbereich, in dem beim Ausbilden des Hologramms ein Übergang von einer Beugungseffizienz von 0% zu einer Beugungseffizienz von 100% stattfindet, sehr schmal und liegt oberhalb einer Schwellenwertdosis. Belichtungen mit einer Energiedosis unterhalb der Schwellenwertdosis führen nicht zur Ausbildung einer rekonstruierbaren holografischen Struktur in dem holografischen Film. Leichte Schwankungen der Energiedosis bei der Hologrammbelichtung in dem relevanten Energiedosisbereich zur Herstellung eines Graustufenwertes führen daher zu starken Helligkeits- oder Graustufenvariationen. Interferenzen können zu solchen Intensitätsschwankungen des zur Belichtung genutzten Lichts führen, welche auf den ersten Blick nicht zu beobachten sind und sich nur in der Fehlbelichtung einzelner Pixel äußern. Erfindungsgemäß wird daher vorgeschlagen, die Oberflächennormale eines räumlichen Lichtmodulators und einer davor angeordneten optischen Komponente leicht gegeneinander zu verkippen. Bereits eine geringe Verkipfung, die zu keiner wahrnehmbaren Verzerrung der in dem Hologramm über die räumliche Modulation gespeicherten Information führt, beseitigt Intensitätsschwankungen aufgrund von Interferenzen, die sich durch Mehrfachreflexionen von Licht an dem räumlichen Lichtmodulator und der davor angeordneten optischen Komponente im Strahlengang ergeben können.

[0015] Erfindungsgemäß wird eine Individualisierungsvorrichtung geschaffen, die ausgebildet ist, Licht einer Lichtquelle aus einer Empfangsrichtung zu empfangen und räumlich modulierte Licht unter einer Ausgaberrichtung für eine Hologrammbelichtung auszugeben, umfassend einen räumlichen Lichtmodulator, und eine Strahlführungsoptik, um das Licht der Lichtquelle auf den räumlichen Lichtmodulator zu führen und das von dem räumlichen Lichtmodulator modulierte Licht wegzuführen, dadurch gekennzeichnet,

net, dass eine Oberflächennormale des räumlichen Lichtmodulators zumindest gegenüber einer Oberflächennormale einer ersten Grenzfläche einer ersten Komponente der Strahlführungsoptik verkippt ist, die das modulierte Licht nach der Modulation an dem räumlichen Lichtmodulator passiert.

[0016] Erfindungsgemäß wird somit eine holografische Belichtungsvorrichtung für eine holografische Belichtung vorgeschlagen, welche eine Masteraufnahmeverrichtung zum Aufnehmen eines Masters; eine Filmführungsverrichtung zum Führen und/oder Halten eines ebenen holografischen Films, eine Lichtquelle, einen räumlichen Lichtmodulator, sowie eine Strahlführungsoptik umfasst, um das Licht der Lichtquelle auf den räumlichen Lichtmodulator zu führen und das von dem räumlichen Lichtmodulator modulierte Licht zu der Masteraufnahme zu führen und wobei die Filmführungsverrichtung in dem Strahlengang vor der Masteraufnahmeverrichtung angeordnet ist und die Filmführungsverrichtung und die Masteraufnahmeverrichtung zueinander so ausgerichtet sind, dass eine Oberfläche eines in der Masteraufnahmeverrichtung angeordneten Masters und eine Oberfläche eines in der Filmführungsverrichtung angeordneten holografischen Films, zumindest lokal in Kontakt bringbar sind oder in Kontakt sind und ein für die Aufnahme des holografischen Films vorgesehenes Volumen der Filmführungsverrichtung so von dem räumlich modulierten Licht durchstrahlt wird, dass dieses mit dem von dem Master zurückgestrahlten Licht in diesem Volumen interferiert, wobei erfindungsgemäß vorgesehen ist, dass eine Oberflächennormale des räumlichen Lichtmodulators zumindest gegenüber einer Oberflächennormale einer ersten Grenzfläche einer ersten Komponente der Strahlführungsoptik verkippt ist, die das modulierte Licht nach der Modulation an dem räumlichen Lichtmodulator passiert.

[0017] Bevorzugt ist der räumliche Lichtmodulator ein LCoS-Modulator oder ein DMD-Modulator. Beide Typen von Modulatoren sind technisch ausgereift und gut anzusteuern.

[0018] Ein als LCoS ausgebildeter räumlicher Lichtmodulator ist in der Regel mit einem zweidimensionalen Array an Flüssigkristallzellen ausgebildet. Ebenso ist es jedoch möglich, einen LCoS-Modulator nur als ein Zeilenarray auszubilden.

[0019] Häufig ist der räumliche Lichtmodulator mit einer transparenten Abdeckung, z. B. einer Scheibe oder einem Fenster, versehen. Daher ist bei einer Ausführungsform die Oberflächennormale des räumlichen Lichtmodulators durch eine Oberflächennormale einer physisch ausgebildeten Austrittsfläche des modulierten Lichts festgelegt

[0020] Insbesondere bei einem als LCoS-Modulator ausgebildeten räumlichen Lichtmodulator, kann die Oberflächennormale des räumlichen Lichtmodulators durch eine Oberflächennormale einer inneren Spiegelfläche festgelegt werden oder sein. Insbesondere, wenn eine äußere Schutzabdeckung fehlt.

[0021] In der Regel sind die Empfangsrichtung und die Ausgaberrichtung der Individualisierungseinrichtung voneinander verschieden. Dieses ermöglicht eine größere Flexibilität hinsichtlich der Integrationsmöglichkeiten der Individualisierungseinrichtung und erweitert Strahlführungsmöglichkeiten in einer holografischen Belichtungseinrichtung.

[0022] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist der polarisationsabhängige Strahlteiler als Strahlteilerwürfel ausgebildet und sind die Oberflächennormalen der äußeren Oberflächen des Strahlteilerwürfels, die das modulierte Licht passiert, beide gegenüber der Oberflächennormale des räumlichen Lichtmodulators verkippt.

[0023] Bei einer Ausführungsform einer holografischen Belichtungseinrichtung umfasst daher die Strahlführungsoptik als optische Komponente einen polarisationsabhängigen Strahlteiler, dessen Oberflächennormalen der Oberflächen, die das modulierte Licht im Strahlengang von dem räumlichen Lichtmodulator zu der Filmführungsvorrichtung passiert, gegenüber der Oberflächennormale des räumlichen Lichtmodulators verkippt sind. Durch diese Maßnahme kann verhindert werden, dass Licht zwischen dem räumlichen Lichtmodulator und Grenzflächen, durch die das Licht passiert, mehrfach hin und her reflektiert wird und hierbei eine Interferenz ausgebildet wird. Eine solche Interferenz führt zu Intensitätsschwankungen.

[0024] Besonders bevorzugt ist der polarisationsabhängige Strahlteiler als Strahlteilerwürfel ausgebildet und sind die Oberflächennormalen der äußeren Oberflächen des Strahlteilerwürfels, die das modulierte Licht im Strahlengang von dem räumlichen Lichtmodulator, z. B. dem LCoS, zu der Filmführungsvorrichtung passiert, parallel zur optischen Achse orientiert, bezüglich derer die Filmführungsvorrichtung und die Masteraufnahmeverrichtung ausgerichtet sind. Bei dieser Ausführungsform ist eine Oberflächennormale des räumlichen Lichtmodulators leicht gegen die optische Achse verkippt. Die optische Achse fällt mit der Sollbelichtungsrichtung des Hologramms zusammen.

[0025] Eine weitere Verringerung von Fehlbelichtungen kann dadurch herbeigeführt werden, dass zwischen dem Strahlteiler und der Filmführungsvorrichtung ein Polfilter angeordnet ist, dessen Oberflächennormalen gegenüber der Oberflächennormale des räumlichen Lichtmodulators verkippt sind.

[0026] Da polarisationsabhängige Strahlteiler auch bei einer sehr hohen Güte keine vollständig perfekte Strahlteilung erreichen können, kann der Polfilter diesen unerwünschten Anteil mit dem „falschen Polarisationszustand“, der den Strahlteiler passiert hat, herausfiltern. Um jedoch Mehrfachreflexionen, die zu Interferenzen führen können zwischen den Oberflächen des Polfilters und dem räumlichen Lichtmodulator zu verhindern, sind die Oberflächennormalen des Polfilters erneut gegen die Oberflächennormale des LCoS verkippt.

[0027] Bei einer Ausführungsform einer Individualisierungseinrichtung ist im Strahlengang des modulierten Lichts hinter dem Strahlteiler ein Polfilter angeordnet, dessen Oberflächennormalen gegenüber der Oberflächennormale des räumlichen Lichtmodulators verkippt sind.

[0028] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind eine oder beide Oberflächennormalen des Polfilters parallel zur optischen Achse orientiert, bezüglich derer die Filmführungsvorrichtung und die Masteraufnahmeverrichtung ausgerichtet sind. Die optische Achse gibt auch hier die Sollbelichtungsrichtung an.

[0029] Die Strahlführungsoptik kann weitere optische Elemente umfassen, um die Strahlführung und/oder auch eine ursprüngliche Ausgangspolarisation des verwendeten kohärenten Lichts herbeizuführen.

[0030] In der Regel handelt sich bei der Lichtquelle um einen Laser, deren Licht bereits aufgrund des Lichterzeugungsmechanismus eine nahezu vollständige Polarisation aufweist. Der Lichtstrahl wird in der Regel zumindest entlang einer Raumrichtung oder entlang zweier zueinander und zu der Ausbreitungsrichtung orthogonaler Raumrichtungen aufgeweitet. Dies kann beispielsweise mittels einer Powell-Linse, einer Zylinderlinse oder ähnlichen strahlformenden Elementen wie z.B. DOEs erfolgen, wobei die Abkürzung DOE für „Digital Optical Element“ steht. Wird der Lichtstrahl nur entlang einer Raumrichtung aufgeweitet, so dass dieser in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung eine Strecke ausleuchtet, welche angepasst an die Ausdehnung des Hologramms entlang einer Orientierungsrichtung ist, so wird dieser aufgeweitete Lichtstrahl in der Regel mit einer Ablenkeinheit, die rotatorisch oder translatorisch bewegbar ist, so geführt, dass diese ausgeleuchteten „Striche“ ein flächig ausgebildetes Array an Modulationseinheiten, beispielsweise an Flüssigkristallzellen eines LCoS-Modulators, abtastend überstreicht. Der Master bzw. die darin gespeicherte Beugungsstruktur wird dann räumlich moduliert zeilenweise in den holografischen Film als Volumen hologramm kopiert. Bei anderen Ausführungsformen, bei denen der räumliche Lichtmodulator nur ein eindimensionales Array an Modulationseinheiten, beispielsweise

se Flüssigkristallzellen, aufweist, erfolgt die Strahlführung so, dass der räumlich modulierte Lichtstrahl Master und Film beispielsweise mäandernd abtastend überstreicht. Beispielsweise können der holografische Film und der Master relativ zu dem Lichtstrahl bewegt werden.

[0031] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf eine Zeichnung näher erläutert.

[0032] Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Beleuchtungsanordnung zum Belichten eines Hologramms; und

Fig. 2 eine schematische Draufsicht auf einen holografischen Film, in dem ein individualisiertes Hologramm gespeichert ist.

[0033] In **Fig. 1** ist schematisch eine Vorrichtung **1** zum Belichten von Hologrammen gezeigt. Eine solche Beleuchtungsanordnung **1** wird auch als Holobelichter bezeichnet. Der Holobelichter **1** umfasst eine Masteraufnahmeanordnung **2**, in der ein Master **3** anordenbar ist. In der dargestellten Ausführungsform ist in der Masteraufnahmeanordnung **2** ein solcher Master **3** angeordnet. Der Master **3** umfasst einen Träger **4**, welcher in der Regel aus Glas oder einem anderen Werkstoff ausgebildet ist. Auch andere Trägermaterialien sind möglich, beispielsweise Metalle. Auf den Träger **4** ist vorzugsweise mindestens eine optisch aktive Schicht, beispielsweise eine Beugungsschicht **5**, aufgebracht, welche eine zu kopierende Beugungsstruktur umfasst. Vorzugsweise umfasst die Beugungsschicht **5** ein Volumenreflexionshologramm, welches kopiert werden soll. Besonders bevorzugt umfasst die als Beugungsschicht **5** ausgebildete optisch aktive Schicht ein Volumenreflexionshologramm einer Mattscheibe. Möglich ist es, dass mehrere optisch aktive Schichten, z.B. Beugungsschichten, übereinander und/oder nebeneinander angeordnet sind. Die optisch aktive Schicht oder die optisch aktiven Schichten können auch andere Beugungsstrukturen als Volumenhologramme oder nicht beugende Strukturen, wie Sägezahnspiegel, wie sie beispielsweise in DE 20 2007 006 796 U1 beschrieben sind, umfassen, sofern diese bei einer Belichtung über eine Oberseite Licht durch oder von dieser Oberseite **6** bzw. Oberfläche zurückstrahlen. Prinzipiell kann eine optisch aktive Struktur auch in dem Träger selbst ausgebildet sein und die optisch aktive Schicht **5** fehlen. Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsformen beschrieben, die als optisch aktive Schicht eine Beugungsschicht aufweisen. Dieses beschreibt jedoch nur eine Art der möglichen Ausführungsformen.

[0034] Der Holobelichter **1** umfasst ferner eine Filmführungsanordnung **10**, die für ein Aufnehmen eines holografischen Films **12** und Halten und/oder Füh-

ren des Films **12** während der Belichtung des Hologramms vorgesehen ist. In der dargestellten Ausführungsform umfasst die Filmführungsanordnung **10** eine Filmrolle **11**, auf der ein holografischer Film **12** bereitgestellt wird. Dieser wird nach dem Belichten auf einer weiteren Filmrolle **13** aufgewickelt. Der holografische Film **12** wird über Filmführungsrollen **14** so geführt, dass dieser parallel zu der Oberseite **6** des Masters vor diesem angeordnet ist. Der Film **12** erstreckt sich somit durch ein Volumen **17** der Filmführungsanordnung **10**, welches für die Anordnung bzw. Aufnahme des holografischen Films **12** während des Kopiervorganges vorgesehen ist. Vorzugsweise liegt der holografische Film **12** während des Belichtungs Vorgangs an dem Master **3** an. Hierdurch können Eigenbewegungen des holografischen Films **12** unterdrückt werden. Dieses steigert die erzielbare Beugungseffizienz des hergestellten Hologramms.

[0035] Um die Beugungsstruktur der mindestens einen Beugungsschicht **5** des Masters **3** zu kopieren, muss dieser mit kohärentem Licht **22** beleuchtet werden, um die Beugungsstruktur zu rekonstruieren. Auch bei einer optisch aktiven Struktur, die nicht beugend ist, muss das zur Belichtung genutzte Licht kohärent sein, um in den holografischen Film ein Hologramm belichten zu können. Hierfür ist eine Lichtquelle **20** vorgesehen, welche in der Regel als Laser ausgebildet ist. Hierbei handelt es sich vorzugsweise um einen cw-Laser. Es sind aber auch Ausführungsformen möglich, bei denen es sich um einen gepulsten Laser handelt. Das Licht **22** einer als Laser ausgebildeten Lichtquelle **20** weist einen ersten Polarisationszustand auf, der hier über Punkte **23** angedeutet ist. Zum Führen des Lichts **22** wird eine Strahlführungsoptik **80** verwendet. Das Licht der Lichtquelle **20** wird bei der dargestellten Darstellungsform zunächst auf eine Ablenk- und Scanvorrichtung **30** der Strahlführungsoptik **80** geführt. Diese umfasst einen mit einem Schrittmotor **31** gekoppelten Spiegel **32**, an dem das einfallende Licht **22** umgelenkt wird. In einer ersten Stellung ist der Spiegel **32** mittels einer durchgezogenen Linie dargestellt. Das durch den Spiegel **32** in dieser Stellung abgelenkte Licht **22'** ist ebenfalls mittels einer durchgezogenen Linie dargestellt.

[0036] Bei anderen Ausführungsformen wird das Licht der Lichtquelle mittels einer andersartig ausgeführten Optik abgelenkt. Beispielsweise können ein Spiegel oder mehrere Spiegel gedreht werden. Auch punktförmige und mäandernde Belichtungen oder vollflächige Belichtungen, mit denen eine flächige Information zeitgleich gespeichert wird, sind möglich.

[0037] Das abgelenkte Licht **22'** wird auf einen polarisationsabhängigen Strahlteilerwürfel **40** der Strahlführungsoptik **80** geführt. Dieser ist aus einem ersten Prisma **41** und einem zweiten Prisma **42** gebildet, an deren Grenzfläche **43** eine polarisationsab-

hängige Strahlteilung erfolgt. Licht des ersten Polarisationszustands wird an dieser Grenzfläche **43** abgelenkt. Licht eines weiteren zu dem ersten Polarisationszustand orthogonalen Polarisationszustands kann hingegen durch die Grenzfläche **43** passieren. Licht des weiteren Polarisationszustands ist über drei Doppelpfeile **24** gekennzeichnet.

[0038] Das an der Grenzfläche **43** des polarisationsabhängigen Strahlteilerwürfels **40** abgelenkte Licht **22''** wird auf einen räumlichen Lichtmodulator **50** gelenkt, der als sogenannter Liquid-Crystal-on-Silicon-Lichtmodulator ausgebildet ist. Der Lichtmodulator **50** umfasst eine Siliziumschicht **51**, an der auftreffendes Licht **22''** reflektiert wird. Auf dieser Siliziumschicht **51** sind vorteilhafter Weise ebenso elektronische Schaltelemente ausgebildet, die zum Schalten von Flüssigkristallzellen **52** verwendet werden, die vor der zur Reflexion genutzten Oberfläche **53** der Siliziumschicht **51** angeordnet sind. Die einzelnen Flüssigkristallzellen **52** können individuell in unterschiedliche Schaltzustände versetzt werden. Abhängig von dem jeweiligen Schaltzustand wird ein Polarisationszustand des durchtretenden Lichts **22''** geändert oder nicht geändert. Dieses bewirkt die räumliche Modulation des Lichts **22''**.

[0039] Vereinfachend wird hier angenommen, dass in einem ersten Schaltzustand das in einem ersten Polarisationszustand auf den Lichtmodulator **50** auftreffende Licht **22''** beim Durchtritt durch eine Flüssigkristallzelle **52-1**, welche aufgrund der Reflexion an der Oberflächenschicht **53** zweimal durchlaufen wird, insgesamt hinsichtlich der Polarisation so verändert wird, dass das Licht **22'''** anschließend in dem zu dem ersten Polarisationszustand orthogonalen weiteren Polarisationszustand polarisiert ist. Dieses hinsichtlich der Polarisation modulierte Licht **22'''** tritt durch eine Schutzabdeckung des räumlichen Lichtmodulators **50**, die beispielsweise als transparente Schutzscheibe **54** ausgebildet ist. Eine Austrittsfläche **56** ist parallel zu der Oberflächenschicht **53** ausgebildet. Die Oberflächennormale des Lichtmodulators **50** ist somit orthogonal zu der Austrittsfläche **56** als auch zu der reflektierenden Oberflächenschicht **53**. Das modulierte Licht **22'''** trifft nach dem Austreten aus dem Lichtmodulator **50** erneut auf den polarisationsabhängigen Strahlteiler **40**.

[0040] Das von dem Lichtmodulator **50** zurückreflektierte modulierte Licht **22'''** kann abhängig von dem Polarisationszustand die Grenzfläche **43** passieren oder nicht. Ist das modulierte Licht **22'''**, wie im exemplarische dargestellten Fall, aufgrund des ersten Schaltzustands der Flüssigkristallzelle **52-1** in den zu dem ersten Polarisationszustand orthogonalen weiteren Polarisationszustand überführt worden, so kann dieses die Grenzfläche **43** des polarisationsabhängigen Strahlteilerwürfels **40** passieren. Anteile des Lichts, die nach wie vor in dem ersten Polarisations-

zustand zu dem polarisationsabhängigen Strahlteilerwürfel **40** gelangen, werden an der Grenzfläche **43** abgelenkt und gelangen nicht zu dem holografischen Film **12** und dem Master **3**. Durch den polarisationsabhängigen Strahlteilerwürfel **40** wird somit das Licht abhängig von dem aufmodulierten Polarisationszustand räumlich hinsichtlich der Intensität moduliert. Das modulierte Licht **22'''**, welches den weiteren Polarisationszustand aufweist, der mittels der Doppelpfeile **24** gekennzeichnet ist, tritt durch den holografischen Film **12** hindurch und wird an der optisch aktiven Struktur der mindestens einen optisch aktiven Schicht des Masters **3** zurückgelenkt, z.B. bei einer als Beugungsschicht **5** ausgebildeten optisch aktiven Schicht gebeugt. Das zurückgestrahlte Licht (nicht dargestellt) interferiert dann in dem holografischen Film **12** mit dem von dem Lichtmodulator **50** kommenden modulierten Licht **22'''**. Hierdurch wird die optisch aktive Struktur, z.B. die beugende Struktur, des Masters **3** in den holografischen Film **12** einbelichtet. Hierbei wird die optisch aktive Struktur pixelweise abhängig von der räumlichen Modulation entweder belichtet und kopiert oder andererseits nicht belichtet und somit auch nicht kopiert. Es entsteht somit eine Kopie der optisch aktiven Struktur, beispielsweise eine Kopie eines Reflexionsvolumenhologramms einer Mattscheibe, von welcher aufgrund der räumlichen Modulation des zur Belichtung genutzten Lichts **22'''** nur für jene Bildpunkte (Pixel) kopiert werden, die beim Belichten rekonstruiert werden.

[0041] Bei der Beschreibung der Ausführungsform wurden bis hierher davon ausgegangen, dass der räumliche Lichtmodulator den Polarisationszustand des Lichts um 90° dreht oder unverändert lässt. Es sind jedoch auch Änderungen möglich, die eine Drehung der Polarisationsrichtung zwischen 0° und 90° bewirken. Alle diese Drehungen führen dazu, dass das Licht einen Anteil in dem weiteren Polarisationszustand aufweist. Je nach Drehwinkel variiert der Anteil und nimmt mit dem Betrag der Drehung zwischen 0° und 90° zu. Hierdurch ist es möglich „Graustufen“ zu belichten.

[0042] In der Regel wird das Licht **22** der Lichtquelle **20** entlang einer Raumrichtung aufgeweitet. Hierfür ist eine Strahlformungseinrichtung **25** der Strahlführungsoptik **80** vorgesehen, welche beispielsweise eine Powell-Linse oder eine Zylinderlinse umfasst. Bei der dargestellten Ausführungsform wird beispielsweise davon ausgegangen, dass der austretende Lichtstrahl des Lichts **22** in der Raumrichtung senkrecht zur Zeichnungsebene aufgeweitet ist. Entsprechend ist der räumliche Lichtmodulator **50** so ausgebildet, dass sich senkrecht zur Darstellungsebene weitere Reihen von Flüssigkristallzellen befinden. Diese können alle individuell angesteuert werden. Zu einem Zeitpunkt werden die Flüssigkristallzellen einer Spalte, welche senkrecht zur Zeichnungsebene orientiert ist, beleuchtet und zur Modulation des in der Raum-

richtung senkrecht zur Zeichnungsebene aufgeweiteten Lichts **22''** verwendet. Ebenso ist es möglich, den Lichtstrahl zusätzlich in der Raumrichtung, welche parallel zur Zeichnungsebene ist, aufzuweiten und somit auch alle Flüssigkristallzellen der vorhandenen Reihen des räumlichen Lichtmodulators **50** zeitgleich zu belichten und zur Modulation des Lichts **22** zu verwenden. Ist der Lichtstrahl in beide zueinander orthogonalen Raumrichtungen ausreichend aufgeweitet, so kann bei ausreichender Lichtintensität der Lichtquelle **20** eine vollflächige zweidimensionale Belichtung des Hologramms in den holografischen Film **12** zeitgleich erfolgen.

[0043] Häufig wird der Lichtstrahl jedoch nur entlang einer Richtung aufgeweitet, wie bei der dargestellten Ausführungsform. Entlang der zweiten Raumrichtung, welche in der dargestellten Ausführungsform in der Zeichnungsebene liegt, wird der Lichtstrahl abtastend über den räumlichen Lichtmodulator **50** und somit über den Master **3** und den holografischen Film **12** geführt.

[0044] Hierzu wird der Spiegel **32** mit dem Schrittmotor **31** parallel zur Ausbreitungsrichtung des aus der Lichtquelle **20** austretenden Lichts **22** bewegt, wie dieses über einen Doppelpfeil **33** angedeutet ist. Um das Abtasten des Masters **3** beim Kopieren zu verdeutlichen, ist der Spiegel **32'** in einer zweiten Stellung gestrichelt dargestellt. Das in dieser zweiten Stellung des Spiegels **32'** umgelenkte Licht **22'** ist ebenfalls gestrichelt dargestellt.

[0045] Bei anderen Ausführungsformen kann die Ablenkung des Lichts anders bewirkt werden, beispielsweise über ein Verschwenken eines oder mehrerer Spiegel.

[0046] In der dargestellten Ausführungsform wird davon ausgegangen, dass die Flüssigkristallzelle **52-2** sich in einem Schaltzustand befindet, in dem das durch sie hindurchtretende, an der Siliziumoberfläche **53** reflektierte und erneut durch die Flüssigkristallzelle **52-2** hindurchtretende Licht **22''** bei diesem Gesamtvorgang hinsichtlich des Polarisationszustands nicht verändert wird. Das von dem räumlichen Lichtmodulator **50** zurückreflektierte modulierte Licht **22''''** weist somit immer noch den ersten Polarisationszustand auf, welches über die Punkte **23** angedeutet ist. Dieses Licht kann den polarisationsabhängigen Strahlteilerwürfel **40** an der Grenzschicht **43** nicht passieren und gelangt somit nicht durch den holografischen Film **12** zu dem Master **3**. Somit wird ein Teil der Beugungsstruktur nicht belichtet, somit nicht rekonstruiert und somit nicht in den holografischen Film **12** kopiert. Der gleiche Effekt tritt auch bei einer nicht beugenden optisch aktiven Struktur auf.

[0047] Der beschriebene Holobelichter **1** umfasst eine erfindungsgemäße Individualisierungseinrichtung

200, welche den räumlichen Lichtmodulator **50** und mindestens eine Komponente der Strahlführungsoptik **80** umfasst, die unmittelbar angrenzend an den Lichtmodulator **50** angeordnet ist. Bei der Ausführungsform nach **Fig. 1** ist dieses der polarisationsabhängige Strahlteilerwürfel **40**. Die Individualisierungseinrichtung **200** kann weitere Komponenten der Strahlführungsoptik **80** umfassen, insbesondere solche Komponenten im Strahlengang des modulierten Lichts **22''''**.

[0048] **Fig. 2** ist schematisch eine Draufsicht auf den holografischen Film **12** mit dem darin einbelichteten Volumenreflexionshologramm **100** dargestellt. Dargestellt ist bereits jenes Bild, welches ein Betrachter bei der Rekonstruktion des Volumenreflexionshologramms **100** sieht. Zur Veranschaulichung sind die einzelnen Pixel des räumlichen Modulationsmusters über ein Gitter **105** dargestellt. Dieses Gitter **105** ist in der Rekonstruktion eines Volumenreflexionshologramms selbstverständlich nicht zu sehen. Zu erkennen sind lediglich helle und dunkle Pixel **101**. Es wäre jedoch auch möglich Graustufenpixel zu beleuchten, wie oben bereits erwähnt ist. Das Pixel **101-1**, welches mit dem Licht **22''''** kopiert wurde, welches durch die Flüssigkristallzelle **52-1** moduliert ist, zeigt die diffuse Streuung der Mattscheibe, welche als Volumenreflexionshologramm in der Beugungsschicht **5** des Masters **3** gespeichert war. Dieses ist dadurch angedeutet, dass das entsprechende Pixel **101-1** weiß dargestellt ist. Hingegen ist das Pixel **101-2** des Hologramms **100**, welches durch das Licht **22''''** kopiert worden ist, welches mittels der Flüssigkristallzelle **52-2** räumlich moduliert wurde, gekreuzt schraffiert dargestellt, da an dieser Stelle die Mattscheibenstruktur nicht kopiert ist und somit im Hologramm bei der Rekonstruktion kein Licht zum Betrachter zurückgeworfen wird. Zu erkennen ist, dass ein zweidimensionales Muster aus Pixeln **101** in das Hologramm **100** kopiert werden kann. Dieses ist durch die räumliche Modulation bedingt. Somit können individuelle oder persönliche Informationen als Pixelmuster in das Hologramm **100** kopiert werden.

[0049] Um Fehlbelichtungen einzelner Pixel **101** im Hologramm **100** zu verhindern, ist eine Oberflächennormale **59** des räumlichen Lichtmodulators **50**, der als LCoS-Modulator ausgebildet ist, leicht gegenüber einer optischen Achse **70** verkippt, welche senkrecht auf der Oberfläche bzw. Oberseite **6** des Masters und senkrecht zur Ebene des holografischen Films **12** und senkrecht zu dessen Oberseite **16** bzw. Oberfläche steht. Eine Oberflächennormale **9** des Masters und eine Oberflächennormale **19** des holografischen Films **12** sind somit zueinander parallel und parallel zur optischen Achse **70** orientiert. Ebenso ist der Strahlteilerwürfel **40** so ausgerichtet, dass eine Oberflächennormale **48** eine Eintrittsfläche **44** des modulierten Lichts **22''''** und eine Oberflächennormale **49** der Austrittsfläche **45** des modulierten Lichts **22''''** je-

weils parallel zur optischen Achse **70** orientiert sind. Somit sind auch diese Oberflächennormalen **48, 49** gegenüber der Oberflächennormale **59** des räumlichen Lichtmodulators verkippt. Diese leichte Verkipfung, welche vorzugsweise im Bereich von $0,01^\circ$ bis $0,1^\circ$ liegt, reicht aus, um zu verhindern, dass Mehrfachreflexion zwischen dem räumlichen Lichtmodulator **50** und den Oberseiten **6, 16** des Films **12** und des Masters **5** oder der Oberflächen **44, 45** des Strahlteilerwürfels **40** auftreten können. Hierdurch werden Interferenzeffekte, die Intensitätsschwankungen des modulierten Lichts **22'''** herbeiführen, vermieden. Die Individualisierungsvorrichtung **200** ist somit so ausgebildet, dass zwischen dem räumlichen Lichtmodulator **50** und eine Grenzfläche einer angrenzend angeordneten Komponente, d.h. hier einer der Oberflächen **44, 45** des Strahlteilerwürfels **40**, keine Interferenzen aufgrund von Mehrfachreflexionen des modulierten Lichts **22'''** auftreten.

[0050] Bei einer optionalen Ausführungsform ist im Strahlengang zwischen dem Strahlteilerwürfel **40** und dem holografischen Film **12** ein weiterer Polarisationsfilter **60** angeordnet, der Licht des weiteren Polarisationszustands passieren lässt. Anteile des ersten Polarisationszustands, welche aus dem räumlich modulierten Licht **22'''** von dem polarisationsabhängigen Strahlteilerwürfel **40** nicht vollständig aus dem Strahlengang entfernt wurden, werden an einem Passieren zu dem holografischen Film **12** und dem Master **5** gehindert. Dieses unterbindet ebenfalls Fehlbelichtungen. Eine Robustheit gegenüber Fehlbelichtungen wird verbessert.

[0051] Oberflächennormalen **68, 69** einer Eintrittsseite **61** und einer Austrittsseite **62** des Polarisationsfilters **60** sind ebenfalls gegenüber Oberflächennormale **59** des räumlichen Lichtmodulators **50** verkippt und vorzugsweise parallel zur optischen Achse **70** orientiert.

[0052] Besonders bevorzugt umfasst der Holobelichter **1** eine Steuereinrichtung **110**, welche die Lichtquelle **20**, die Ablenk- und Scanvorrichtung **30** sowie die Filmführungsvorrichtung **10** und den räumlichen Lichtmodulator **50** steuert. Die für die Steuerung des räumlichen Lichtmodulators **50** benötigten individuellen oder persönlichen Informationen können der Steuereinrichtung **110** über eine Schnittstelle **111** zugeführt werden.

[0053] Es versteht sich, dass hier lediglich eine beispielhafte Ausführungsform einer Belichtungsvorrichtung zum Kopieren von Hologrammen beschrieben ist. Die Strahlführungsoptik **80** kann zusätzliche und/oder andere optische Elemente umfassen, welche das Licht **22** der Lichtquelle **20** auf den Lichtmodulator **50** und von diesem gradlinig zu dem holografischen Film **12** und dem Master **3** führen.

[0054] Angemerkt wird, dass die **Fig. 1** nur eine schematische Darstellung eines Holobelichters **1** und einer Individualisierungseinrichtung **200** zeigt. Insbesondere die Abstände zwischen den einzelnen Komponenten sind nicht maßstabsgerecht. Ein Abstand zwischen dem räumlichen Lichtmodulator **50** und dem Strahlteilerwürfel **40** ist in der Regel sehr viele geringer als ein Abstand von dem Strahlteilerwürfel **40** zu der Masteraufnahmeverrichtung **2** bzw. dem holografischen Film **12**.

[0055] Insbesondere kann die Erfindung auch auf Belichtungseinrichtungen für Hologramme angewendet werden, bei denen der Master auf einer Außenfläche einer Trommel angeordnet ist. Allgemeine Strahlführungen für solche Belichtungseinrichtungen sind beispielsweise in der DE 10 2007 042 385 und DE 10 2007 042 386 beschrieben.

[0056] Wesentlich für die Erfindung ist es, dass in unmittelbarer Nähe des räumlichen Lichtmodulators keine Grenzflächen parallel zu einer Grenzfläche und/oder Reflexionsfläche des räumlichen Lichtmodulators ausgebildet ist, durch die das zur Belichtung genutzte Licht senkrecht hindurchtritt oder an der das zur Belichtung genutzte Licht senkrecht, d. h. parallel zur Oberflächennormale reflektiert wird.

Bezugszeichenliste

1	Holobelichter/Belichtungsvorrichtung für Hologramme
2	Masteraufnahmeverrichtung
3	Master
4	Träger
5	Beugungsschicht (umfasst beispielsweise Volumenhologramm einer Mattscheibe)
6	Oberseite
9	Oberflächennormale
10	Filmführungsvorrichtung
11	Filmrolle
12	holografischer Film
13	weitere Filmrolle
14	Führungsrollen
16	Oberseite (des Films 12)
17	Volumen
19	Oberflächennormale
20	Lichtquelle (Laser)
22, 22', 22''	Licht
22'''	moduliertes Licht

23	Punkte (kennzeichnen einen ersten Polarisationszustand)	101-2	zweites Pixel
		105	Gitter
24	Doppelpfeile (kennzeichnen einen weitere zu dem ersten Polarisationszustand orthogonalen Polarisationszustand)	110	Steuereinrichtung
		111	Schnittstelle
		200	Individualisierungseinrichtung
25	Strahlformungseinrichtung		
30	Ablenk- und Scanvorrichtung		
31	Schrittmotor		
32	Spiegel (erste Stellung)		
32'	Spiegel (zweite Stellung)		
33	Doppelpfeil		
40	polarisationsabhängiger Strahlteilerwürfel		
41	erstes Prisma		
42	zweites Prisma		
43	Grenzfläche		
44	Eintrittsfläche		
45	Austrittsfläche		
48, 49	Oberflächennormalen		
50	räumlicher Lichtmodulator als LCoS ausgeführt		
51	Siliziumschicht		
52	Flüssigkristallzellen		
52-1	eine Flüssigkristallzelle (erster Schaltzustand)		
52-2	andere Flüssigkristallzelle (zweiter Schaltzustand)		
53	Oberfläche der Siliziumschicht		
54	Schutzscheibe		
56	Austrittsfläche		
59	Oberflächennormale		
60	Polarisationsfilter		
61	Eintrittsseite		
62	Austrittsseite		
68, 69	Oberflächennormalen		
70	optische Achse		
80	Strahlführungsoptik		
100	Hologramm		
101	Pixel		
101-1	erstes Pixel		

Patentansprüche

1. Individualisierungseinrichtung (200), die ausgebildet ist, Licht (22) einer Lichtquelle (20) aus einer Empfangsrichtung zu empfangen und räumlich moduliertes Licht (22'') unter einer Ausgaberrichtung für eine Hologrammbelichtung auszugeben, umfassend einen räumlichen Lichtmodulator (50), und eine Strahlführungsoptik (80), um das Licht (22) der Lichtquelle (20) auf den räumlichen Lichtmodulator (50) zu führen und das von dem räumlichen Lichtmodulator (50) modulierte Licht (22'') wegzuführen, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Oberflächennormale (59) des räumlichen Lichtmodulators (50) zumindest gegenüber einer Oberflächennormalen einer ersten Grenzfläche (44) einer ersten Komponente (40) der Strahlführungsoptik (80) verkippt ist, die das modulierte Licht (22'') nach der Modulation an dem räumlichen Lichtmodulator (50) passiert.

2. Individualisierungseinrichtung (200) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der räumliche Lichtmodulator (50) ein LCoS-Modulator oder ein DMD-Modulator ist.

3. Individualisierungseinrichtung (200) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oberflächennormale (59) des räumlichen Lichtmodulators (50) durch eine Oberflächennormale einer physisch ausgebildeten Austrittsfläche (56) des modulierten Lichts (22'') festgelegt ist.

4. Individualisierungseinrichtung (200) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oberflächennormale (59) des räumlichen Lichtmodulators (50) durch eine Oberflächennormale einer inneren reflektierenden Oberflächenschicht (53) festgelegt ist.

5. Individualisierungseinrichtung (200) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Empfangsrichtung und die Ausgaberrichtung voneinander verschieden sind.

6. Individualisierungseinrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlführungsoptik (80) einen polarisationsabhängigen Strahlteiler (40) umfasst, dessen Oberflächennormalen (48, 49) der äußeren Oberflächen (44, 45), die das modulierte Licht (22'') passiert, ge-

genüber der Oberflächennormale (59) des räumlichen Lichtmodulators (50) verkippt sind.

7. Individualisierungseinrichtung (200) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der polarisationsabhängige Strahlteiler als Strahlteilerwürfel (40) ausgebildet ist und die Oberflächennormalen (48, 49) der äußeren Oberflächen (44, 45) des Strahlteilerwürfels, die das modulierte Licht (22'') passiert, beide gegenüber der Oberflächennormale (59) des räumlichen Lichtmodulators (50) verkippt sind.

8. Individualisierungseinrichtung nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Strahlengang des modulierten Lichts (22'') hinter dem Strahlteiler (40) ein Polfilter (60) angeordnet ist, dessen Oberflächennormalen (68, 69) gegenüber der Oberflächennormale (59) des räumlichen Lichtmodulators (50) verkippt sind.

9. Holobelichter (1) umfassend eine Masteraufnahmevorrichtung (2) zum Aufnehmen eines Masters (3),
 ein eine Filmführungsvorrichtung (10) zum Führen und/oder Halten eines ebenen holografischen Films (12),
 eine Lichtquelle (20),
 eine Individualisierungseinrichtung (200), nach einem der vorangehenden Ansprüche die Licht (22) der Lichtquelle (20) empfängt und räumlich modulierte Licht (22'') unter einer Ausgaberrichtung so ausgibt,
 wobei die Filmführungsvorrichtung (10) in dem Strahlengang des modulierten Lichts (22'') vor der Masteraufnahmevorrichtung (2) angeordnet ist und Filmführungsvorrichtung (10) und Masteraufnahmevorrichtung (2) so zueinander ausgerichtet sind, dass eine Oberfläche eines in der Masteraufnahmevorrichtung (2) angeordneten Masters (3) und ein in der Filmführungsvorrichtung angeordneter holografischer Film (12) zumindest lokal in Kontakt bringbar sind oder in Kontakt sind, und ein für die Aufnahme des holografischen Films (12) vorgesehenes Volumen (17) der Filmführungsvorrichtung (10) so von dem räumlich modulierten Licht (22'') durchstrahlt wird, dass dieses mit dem von dem Master (3) zurückgestrahlten Licht (22'') in diesem Volumen (17) interferiert.

10. Holobelichter (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Individualisierungseinrichtung einen als Strahlteilerwürfel (40) ausgebildeten polarisationsabhängigen Strahlteiler umfasst und die Oberflächennormalen (48, 49) der äußeren Oberflächen (44, 45) des Strahlteilerwürfels, die das modulierte Licht (22'') passiert, beide gegenüber der Oberflächennormale (59) des räumlichen Lichtmodulators (50) verkippt sind und parallel zu einer Oberflächennormale (9) der von dem modulierten Licht (22'') beleuchteten Oberfläche eines in der Masteraufnahme-

vorrichtung (2) angeordneten Masters (3) orientiert sind.

11. Holobelichter (1) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Strahlengang des modulierten Lichts (22'') hinter dem Strahlteiler (40) ein Polfilter (60) angeordnet ist, dessen Oberflächennormalen (68, 69) gegenüber der Oberflächennormale (59) des räumlichen Lichtmodulators (50) verkippt sind und eine Oberflächennormale (68, 69) oder beide Oberflächennormalen (68, 69) des Polfilters (60) parallel zu einer Oberflächennormale (9) der von dem modulierten Licht (22'') beleuchteten Oberfläche eines in der Masteraufnahmevorrichtung (2) angeordneten Masters (3) orientiert sind.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

