



(10) **DE 20 2016 008 701 U1** 2019.03.21

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21) Aktenzeichen: **20 2016 008 701.1**

(22) Anmeldetag: **22.12.2016**

(67) aus Patentanmeldung: **EP 16 82 2727.0**

(47) Eintragungstag: **07.02.2019**

(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **21.03.2019**

(51) Int Cl.: **G03H 1/04 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
201562273027 P 30.12.2015 US

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
**EGE LEE & PARTNER Patentanwälte PartGmbB,
80807 München, DE**

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
Dualitas Ltd., Knowlhill, Milton Keynes, GB

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Dynamische holografieorientierte Tiefendruckvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Eine Vorrichtung, die zum Aushärten eines Zielmaterials (206) unter Verwendung einer holografischen Projektion geeignet ist, wobei die Vorrichtung geeignet ist, die folgenden geordneten Schritte durchzuführen: Empfangen von Bilddaten basierend auf einem dreidimensionalen Objekt und Berechnen eines Hologramms in Echtzeit;

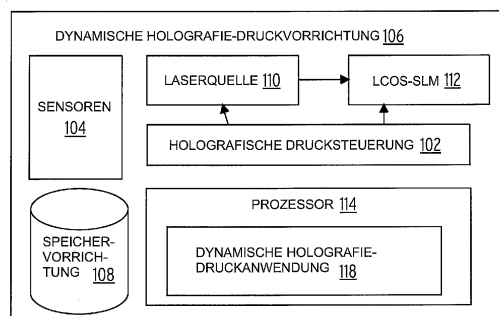
Erzeugen eines Lasersteuersignals und eines LCOS-SLM-Steuersignals, wobei das LCOS-SLM-Steuersignal auf dem in Echtzeit berechneten Hologramm basiert;

Erzeugen eines oder mehrerer einfallender Laserstrahlen basierend auf dem Lasersteuersignal mit einer Laserquelle (110);

Modulieren des einen oder der mehreren einfallenden Laserstrahlen basierend auf dem LCOS-SLM-Steuersignal mit einem LCOS-SLM (112);

Erzeugen einer oder mehrerer holografischer Wellenfronten (402, 404) aus den einen oder mehreren modulierten einfallenden Laserstrahlen, wobei jede holografische Wellenfront mindestens einen entsprechenden Brennpunkt bildet, um eine Vielzahl von unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereichen basierend auf den Brennpunkten der einen oder mehreren holografischen Wellenfronten (402, 404) zu erzeugen, wobei die Vielzahl von unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereichen einem Körper des dreidimensionalen Objekts entspricht, der in einem Zielmaterial ausgebildet ist; und

Aushärten eines Abschnitts des Zielmaterials (206) an der Vielzahl von bestimmten fokussierten Lichtfeldbereichen, wobei der Abschnitt des Zielmaterials den Körper des dreidimensionalen ...



Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Vorrichtung. Genauer gesagt, betrifft die vorliegende Offenbarung einen 3D-Drucker. Noch genauer betrifft die vorliegende Offenbarung einen holografischen 3D-Drucker. Einige Ausführungsformen betreffen einen holografischen Projektor zum Aushärten eines 3D-Zielobjekts.

HINTERGRUND

[0002] Der 3D-Druck betrifft verschiedene Prozesse, die zur Synthese eines dreidimensionalen Objekts verwendet werden. Beim 3D-Druck werden unter Computersteuerung aufeinanderfolgende Materialschichten gebildet, um ein dreidimensionales physisches Objekt zu erzeugen. Diese Objekte können nahezu jede Form und Geometrie aufweisen und werden aus einem 3D-Modell oder einer anderen elektronischen Datenquelle hergestellt. Leider kann der 3D-Druck sehr lange dauern, da jeweils nur eine einzige Schicht gedruckt werden kann.

[0003] Es werden hierin Geräte und Systeme zum Aushärten einer Zielfläche unter Verwendung eines holografischen Projektionssystems beschrieben.

[0004] Von einem Objekt gestreutes Licht enthält sowohl Amplituden- als auch Phaseninformationen. Diese Amplituden- und Phaseninformationen können beispielsweise anhand von bekannten Interferenzmethoden auf einer lichtempfindlichen Platte erfasst werden, um eine holografische Aufzeichnung, oder ein „Hologramm“, zu schaffen, das Interferenzstreifen umfasst. Das Hologramm kann durch Beleuchtung mit geeignetem Licht rekonstruiert werden, um eine zwei- oder dreidimensionale holografische Rekonstruktion oder ein für das ursprüngliche Objekt repräsentatives Wiedergabebild zu bilden.

[0005] Die computergenerierte Holografie kann den Interferenzprozess numerisch simulieren. Ein computergeneriertes Hologramm, „CGH“, kann durch eine Methode berechnet werden, die auf einer mathematischen Transformation wie einer Fresnel- oder Fouriertransformation basiert. Diese Art von Hologrammen kann als Fresnel- oder Fourier-Hologramm bezeichnet werden. Ein Fourier-Hologramm kann als eine Fourier-Domänendarstellung des Objekts oder eine Frequenzbereichsdarstellung des Objekts betrachtet werden. Ein CGH kann auch durch kohärente Strahlenverfolgung oder eine Punktwolkenmethode berechnet werden.

[0006] Ein CGH kann auf einem räumlichen Lichtmodulator, „SLM“, kodiert werden, der derart angeordnet ist, dass er die Amplitude und/oder Phase

des einfallenden Lichts moduliert. Die Lichtmodulation kann beispielsweise mit elektrisch adressierbaren Flüssigkristallen, optisch adressierbaren Flüssigkristallen oder Mikrospiegeln erreicht werden.

[0007] Der SLM kann eine Vielzahl von individuell adressierbaren Pixeln umfassen, die auch als Zellen oder Elemente bezeichnet werden können. Das Lichtmodulationsschema kann binär, mehrstufig oder kontinuierlich sein. Alternativ kann die Vorrichtung kontinuierlich sein (d. h. sie besteht nicht aus Pixeln) und die Lichtmodulation kann daher über die gesamte Vorrichtung kontinuierlich erfolgen. Der SLM kann reflektierend sein, was bedeutet, dass moduliertes Licht von dem SLM als Spiegelung ausgegeben wird. Das SLM kann ebenfalls transmissiv sein, was bedeutet, dass moduliertes Licht von dem SLM als Transmission ausgegeben wird.

[0008] US2015/309473A1 offenbart ein hochauflösendes Projektions-Mikro-Stereolithographie-System und -Verfahren, das eines oder mehrere der folgenden Merkmale mit einem Mikro-Stereolithographie-System mit Standardprojektion unter Verwendung eines vom SLM projizierten digitalen Bildes zur Bildung von Komponenten in einem stereolithografischen Bad beinhaltet: eine Fernfeld-Superlinse zum Erzeugen von subbeugungsbegrenzten Merkmalen, mehrere räumliche Lichtmodulatoren (SLM) zum Erzeugen von räumlich gesteuerten dreidimensionalen Interferenzhologrammen mit nanoskaligen Merkmalen und die Integration von mikrofluidischen Komponenten in das Harzbad eines PpSL-Systems zum Herstellen von Mikrostrukturen aus verschiedenen Materialien.

[0009] US5682214A offenbart ein optisches Gerät zum Steuern einer Wellenfront eines kohärenten Lichts, die mindestens das Folgende beinhaltet: eine kohärente Lichtquelle, eine elektrisch adressierbare Flüssigkristallvorrichtung mit einer Vielzahl von Pixeln, die das Licht von der Lichtquelle empfangen, und einen Signalgenerator zum Aufzeichnen einer komplexen Amplitudenverteilung oder eines Hologramms auf der Flüssigkristallvorrichtung.

Figurenliste

[0010] Um die Diskussion über ein bestimmtes Element oder eine bestimmte Handlung leicht zu identifizieren, beziehen sich die wichtigsten Ziffern oder Ziffern in einer Referenznummer auf die Figur, in der dieses Element zum ersten Mal eingeführt wird.

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für eine dynamische Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, das ein weiteres Beispiel für eine dynamische Holografie-Druck-

vorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 3 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für eine dynamische Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer weiteren exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 4 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für einen Druckvorgang unter Verwendung einer dynamischen Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 5 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für ein dreidimensional gedrucktes Objekt gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 6 ist ein Diagramm, das einen Querschnitt eines Beispiels eines LCOS-SLM (Liquid Crystal on Silicon Spatial Light Modulator - Räumlicher Lichtmodulator mit Flüssigkristall auf Silizium) veranschaulicht.

Fig. 7 ist ein Flussdiagramm, das einen exemplarischen Vorgang einer dynamischen Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 8 ist ein Flussdiagramm, das einen weiteren exemplarischen Vorgang einer dynamischen Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 9 ist ein Flussdiagramm, das einen weiteren exemplarischen Vorgang einer dynamischen Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 10 ein Blockdiagramm, das Komponenten einer Maschine gemäß einigen exemplarischen Ausführungsformen veranschaulicht, die in der Lage sind, Anweisungen von einem maschinenlesbaren Medium zu lesen und eine oder mehrere der hierin erörterten Methodiken durchzuführen.

ZUSAMMENFASSUNG

[0011] Exemplarische Systeme werden auf eine dynamische Holografie-Druckvorrichtung gerichtet. Beispiele verdeutlichen lediglich mögliche Variationen. Sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, sind Strukturen (z. B. Strukturkomponenten, wie z. B. Module) optional und können kombiniert oder untergliedert werden, und Vorgänge (z. B. in einer Prozedur, einem Algorithmus oder einer anderen Funktion) können in ihrer Reihenfolge variieren oder kombiniert oder untergliedert werden. In der folgenden Beschreibung werden zur Erläuterung zahlreiche spezifische Details aufgeführt, um ein gründliches Verständnis

der exemplarischen Ausführungsformen zu ermöglichen. Für einen Fachmann wird jedoch ersichtlich sein, dass der vorliegende Gegenstand ohne diese spezifischen Details praktiziert werden kann.

[0012] Dynamische holografische Wellenfronten können so erzeugt und manipuliert werden, dass die konstruktive und destruktive Interferenz der Laserlichter präzise und über einen dreidimensionalen räumlichen Bereich gesteuert werden kann. Mit ausreichender Energie verfügen diese konstruktiven und destruktiven Störstellen über genügend Energie, um Wärme zu erzeugen. Die Lage und Intensität der Wärme kann mittels der konstruktiven und destruktiven Interferenz an den Laserwellenfronten gesteuert werden, um Wärme/Energie in einem dreidimensionalen Raum zu fokussieren und präzise zu erzeugen, um ein dreidimensionales Objekt unter Verwendung herkömmlicher 3D-Druck-Lithografie/Sintermethoden zu drucken.

[0013] Die dynamische Holografiemethode für kontrollierte Tiefen stellt eine kontrolliertere 3D-Drucktechnik bereit, indem sie eine präzisere Kontrolle über das räumliche Scannen der Druckstelle ermöglicht. Anstatt einfach nur einen scanbaren „Punkt“ in einem dreidimensionalen Raum oder eine Vollsicht „Maske“ bereitzustellen, kann ein vollständig 3D-holografisches „Bild“ in einem Volumen aus aushärtbarem Material mit ausreichender Leistung erzeugt werden, um das Material an allen holografischen Punkten im Volumen auszuhärten, wodurch mit einem Durchgang ein Voll-3D-Druck in der Form des Hologramms erzeugt wird.

[0014] Die Druckvorrichtung verwendet ein Laserlicht, das durch einen holografischen räumlichen Lichtmodulator (z. B. ein LCOS-SLM (Liquid Crystal on Silicon Spatial Light Modulator - Räumlicher Lichtmodulator mit Flüssigkristall auf Silizium) System) gebeugt (und optional reflektiert) wird. LCOS-SLM (Liquid Crystal on Silicon Spatial Light Modulator - Räumlicher Lichtmodulator mit Flüssigkristall auf Silizium) wird verwendet, um die Phase oder Amplitude des Laserlichts zu modulieren, um eine holografische Wellenfront zu erzeugen (d. h. eine Wellenfront, die - z. B. auf einer Oberfläche - zu einer holografischen Rekonstruktion oder einem holografischen Bild rekonstruiert wird). Die Phase des modulierten Lichts wird so gesteuert, dass eine komplexe holografische Wellenfront erzeugt werden kann, wahlweise mit mehreren Brennpunkten oder nur einem einzigen Brennpunkt. Die Phase des modulierten Lichts kann so gesteuert werden, dass ein holografisches Bild mit beliebiger Konfiguration gebildet wird. Das heißt, der LCOS-SLM verteilt die empfangene optische Energie entsprechend dem Signal neu. Wie aus der vorliegenden Offenbarung ersichtlich ist, kann die empfangene optische Energie beispielsweise auf mindestens einen Brennpunkt fokus-

siert werden. An den Brennpunkten treten konstruktive und destruktive Interferenzen von mehreren holografischen Wellenfronten auf, die zu einer Konzentration der Energie aus dem Laserlicht führen. Die konzentrierte Energie erwärmt oder härtet ein Material an der Oberflächenschicht oder einer darunter liegenden Schicht eines Zielmaterials (z. B. wärmeempfindliches Papier). Da die Brennpunkte durch Wellenformrekonstruktion erzeugt werden, können Muster und Lage der Brennpunkte durch Modulieren der Phase und/oder Amplitude des Laserlichts sehr präzise gesteuert werden, um komplexe Muster und Formen zu erzeugen. Der SLM ist ein LCOS-SLM. Der LCOS-SLM ermöglicht es dem Benutzer somit, die holografischen Felder zu steuern und die Lage des Interferenzmusters zu verändern.

[0015] In einigen Ausführungsformen beinhaltet eine Vorrichtung Folgendes: einen Hardwareprozessor; eine Laserquelle, die konfiguriert ist, um eine Gruppe von einfallenden Laserstrahlen basierend auf dem Lasersteuersignal zu erzeugen; und/oder einen LCOS-SLM, der konfiguriert ist, um die Gruppe der einfallenden Laserstrahlen zu empfangen, um die Gruppe der einfallenden Laserstrahlen basierend auf dem LCOS-SLM-Steuersignal zu modulieren, um eine Gruppe von holografischen Wellenfronten zu erzeugen, wobei jede holografische Wellenfront mindestens einen entsprechenden Brennpunkt bildet, um eine Gruppe von unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereichen basierend auf den Interferenzpunkten der Brennpunkte der Gruppe von holografischen Wellenfronten zu erzeugen, wobei die Gruppe der unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereiche einem Körper des in einem Zielmaterial gebildeten dreidimensionalen Objekts entspricht, und um einen Abschnitt des Zielmaterials an der Gruppe von verschiedenen fokussierten Lichtfeldbereichen auszuhärten.

[0016] Es ist eine Vorrichtung vorgesehen, die Folgendes umfasst: einen Hardwareprozessor, der eine dynamische Holografie-Druckanwendung umfasst, die ausgestaltet ist, um ein Lasersteuersignal und ein LCOS-SLM-Steuersignal (Liquid Crystal on Silicon Spatial Light Modulator - Räumlicher Lichtmodulator mit Flüssigkristall auf Silizium) basierend auf einem dreidimensionalen Objekt zu erzeugen; eine Laserquelle, die ausgestaltet ist, um eine Vielzahl von einfallenden Laserstrahlen basierend auf dem Lasersteuersignal zu erzeugen; und einen LCOS-SLM, der ausgestaltet ist, um die Vielzahl von einfallenden Laserstrahlen zu empfangen, um die Vielzahl von einfallenden Laserstrahlen basierend auf dem LCOS-SLM-Steuersignal zu modulieren, um eine Vielzahl von holografischen Wellenfronten aus der modulierten Vielzahl von einfallenden Laserstrahlen zu erzeugen, wobei jede holografische Wellenfront entsprechende Brennpunkte aufweist, um eine Vielzahl von unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereichen basie-

rend auf den Interferenzpunkten der Brennpunkte der Vielzahl von holografischen Wellenfronten zu erzeugen, wobei die Vielzahl von unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereichen einem Körper des dreidimensionalen Objekts entspricht, das in einem Zielmaterial gebildet ist, und um einen Abschnitt des Zielmaterials an der Vielzahl von verschiedenen fokussierten Lichtfeldbereichen auszuhärten, wobei der Abschnitt des Zielmaterials den Körper des dreidimensionalen Objekts beinhaltet.

[0017] In einigen Ausführungsformen beinhaltet der Hardwareprozessor eine dynamische Holografie-Druckanwendung, die ausgestaltet ist, um ein Lasersteuersignal und ein LCOS-SLM-Steuersignal (Liquid Crystal on Silicon Spatial Light Modulator - Räumlicher Lichtmodulator mit Flüssigkristall auf Silizium) basierend auf einem dreidimensionalen Objekt zu erzeugen. Der Abschnitt des Zielmaterials kann den Körper des dreidimensionalen Objekts beinhalten.

[0018] In einigen Ausführungsformen kann eine solche Vorrichtung ferner eine Laserquellensteuerung beinhalten, die mit der Laserquelle gekoppelt ist. Die Laserquellensteuerung ist ausgestaltet, um das Lasersteuersignal zu empfangen und die Laserquelle als Reaktion auf das Lasersteuersignal zu steuern. Eine LCOS-SLM-Steuerung ist mit dem LCOS-SLM gekoppelt und ausgestaltet, um das LCOS-SLM-Steuersignal zu empfangen und das LCOS-SLM als Reaktion auf das LCOS-SLM-Steuersignal zu steuern.

[0019] Der LCOS-SLM ist ausgestaltet, um das Laserlicht auf mindestens einen Brennpunkt zu fokussieren. Das Aushärten kann an mindestens einem Brennpunkt erfolgen, wenn die Leistungsdichte ausreichend hoch ist. Das heißt, in diesen Ausführungsformen ist eine Interferenz mehrerer Brennpunkte nicht erforderlich, um die erforderliche Leistungsdichte für das Aushärten zu erreichen.

[0020] In einigen Ausführungsformen ist das LCOS-SLM ausgestaltet, um erstes Laserlicht und zweites Laserlicht zu empfangen. In einigen Ausführungsformen wird das erste Laserlicht auf einer ersten Vielzahl von Pixeln des SLM und das zweite Laserlicht auf einer zweiten Vielzahl von Pixeln des SLM empfangen. In einigen Ausführungsformen werden das erste Laserlicht und das zweite Laserlicht zur gleichen Zeit oder im Wesentlichen zur gleichen Zeit empfangen. Die erste Vielzahl von Pixeln ist ausgestaltet, um das erste Laserlicht auf mindestens einen ersten Brennpunkt zu fokussieren. Die zweite Vielzahl von Pixeln ist ausgestaltet, um das zweite Laserlicht auf mindestens einen zweiten Brennpunkt zu fokussieren. In einigen Ausführungsformen sind der mindestens eine erste Brennpunkt und der mindestens eine zweite Brennpunkt im Wesentlichen deckungsgleich. In diesen Ausführungsformen treten

konstruktive Interferenzen an den Brennpunkten auf und das Aushärten einer Zieloberfläche erfolgt bei ausreichend hoher Leistungsdichte. Es kann verstanden werden, dass die Pixel des SLM in eine beliebige Anzahl von Teilmengen unterteilt werden können, wobei jede Teilmenge so angeordnet ist, dass sie das jeweilige Laserlicht empfängt und das jeweilige Laserlicht auf mindestens einen Brennpunkt fokussiert. In anderen Ausführungsformen kann eine Vielzahl von SLMs verwendet werden, um eine entsprechende Vielzahl von Laserlichtstrahlen in einen gemeinsamen, unterschiedlich fokussierten Lichtfeldbereich zu bringen, um die Zieloberfläche an den verschiedenen fokussierten Lichtfeldbereichen auszuhärten.

[0021] In einigen Ausführungsformen befinden sich zumindest einige der Brennpunkte an unterschiedlichen Tiefen innerhalb des Zielmaterials. Das heißt, es werden Brennpunkte in unterschiedlichen Abständen - d. h. senkrechten Abständen - vom SLM gebildet. In einigen Ausführungsformen wird dies durch die Verwendung von Softwarelinsen mit unterschiedlichen Fokussierleistungen erreicht, wie im Folgenden näher beschrieben. Es kann verstanden werden, dass jedes definierte 3D-Volumen des Ziels, wie nachfolgend beschrieben, - z. B. im Wesentlichen gleichzeitig - bestrahlt werden kann, indem eine beliebige Vielzahl von verschiedenen fokussierten Lichtfeldbereichen mit unterschiedlichen Softwarelinsen und Gitterfunktionen als Teil des Hologramms kombiniert wird.

[0022] In einigen Ausführungsformen ist die dynamische Holografie-Druckanwendung ausgestaltet, um: eine Gruppe von vordefinierten räumlichen Positionen zu identifizieren, die dem Körper des dreidimensionalen Objekts im Zielmaterial entsprechen, das an den LCOS-SLM angrenzt, und das LCOS-SLM-Steuersignal und das Lasersteuersignal zu erzeugen, um eine Position der Brennpunkte der modulierten Gruppe von einfallenden Laserstrahlen so einzustellen, dass sie der Gruppe von vordefinierten räumlichen Positionen entspricht. Der LCOS-SLM bewirkt, dass der Teil des Zielmaterials an den Interferenzpunkten, die basierend auf der Gruppe der vordefinierten räumlichen Positionen gebildet werden, aushärtet.

[0023] In einigen Ausführungsformen ist die dynamische Holografie-Druckanwendung ausgestaltet, um: eine erste Gruppe von vordefinierten räumlichen Lagen zu identifizieren, die einem ersten Abschnitt des Körpers des dreidimensionalen Objekts im Zielmaterial entspricht, das an den LCOS-SLM angrenzt, das Lasersteuersignal und das LCOS-SLM-Steuersignal basierend auf der ersten Gruppe von vordefinierten räumlichen Lagen einzustellen und eine zweite Gruppe von Brennpunkten der Gruppe von modulierten Laserlichtstrahlen basierend auf der ersten Gruppe von vordefinierten räumlichen Lagen zu bilden. Der erste Abschnitt des Körpers des dreidimen-

sionalen Objekts wird an den Interferenzpunkten basierend auf der zweiten Gruppe von Brennpunkten im Zielmaterial ausgehärtet.

[0024] In einigen Ausführungsformen ist die dynamische Holografie-Druckanwendung ausgestaltet, um: eine zweite Gruppe von vordefinierten räumlichen Lagen zu identifizieren, die einem zweiten Abschnitt des Körpers des dreidimensionalen Objekts im Zielmaterial entspricht, das Lasersteuersignal und das LCOS-SLM-Steuersignal basierend auf der zweiten Gruppe von vordefinierten räumlichen Positionen einzustellen, eine dritte Gruppe von Brennpunkten der Gruppe von modulierten Laserlichtstrahlen basierend auf der zweiten Gruppe von vordefinierten räumlichen Positionen zu bilden und einen weiteren Satz von Brennpunkten basierend auf der dritten Gruppe von Brennpunkten zusätzlich zu den Brennpunkten basierend auf der zweiten Gruppe von Brennpunkten zu bilden. Der zweite Abschnitt des Körpers des dreidimensionalen Objekts kann an den anderen Interferenzpunkten ausgehärtet werden.

[0025] In einigen Ausführungsformen ist die dynamische Holografie-Druckanwendung ausgestaltet, um: Druckdaten entsprechend dem dreidimensionalen Objekt zu empfangen, Bereiche innerhalb des Zielmaterials basierend auf den gedruckten Daten zu identifizieren, eine zweite Gruppe von Brennpunkten entsprechend den Bereichen innerhalb des Zielmaterials basierend auf den gedruckten Daten zu identifizieren und das Lasersteuersignal und das LCOS-SLM-Steuersignal basierend auf der zweiten Gruppe von Fokuspunkten einzustellen. Die Bereiche innerhalb des Zielmaterials können an den Interferenzpunkten basierend auf der zweiten Gruppe von Fokuspunkten ausgehärtet werden.

[0026] In einigen Ausführungsformen ist die dynamische Holografie-Druckanwendung ausgestaltet, um: Druckdaten, die dem dreidimensionalen Objekt entsprechen, zu empfangen, eine Gruppe von Lagen von Interferenzpunkten entlang eines dreidimensionalen Raumes basierend auf den gedruckten Daten zu berechnen, eine Gruppe von Positionen von Brennpunkten, die der Gruppe von Positionen von Interferenzpunkten entsprechen, zu berechnen, das Lasersteuersignal und das LCOS-SLM-Steuersignal zu erzeugen, um holografische Wellenfronten basierend auf der Lage der Gruppe von Brennpunktlagen, die der Gruppe von Interferenzpunktlagen entsprechen, zu bilden, das Zielmaterial an der Gruppe von Positionen der Interferenzpunkte der holografischen Wellenfronten zu erwärmen und das dreidimensionale Objekt an dem erwärmten Teil des Zielmaterials zu bilden.

[0027] In einigen Ausführungsformen ist das LCOS-SLM ausgestaltet, um mindestens eine Phase oder eine Amplitude der Gruppe von Laserlichtstrahlen zu

modulieren, um die Gruppe von holografischen Wellenfronten an den Fokuspunkten zu erzeugen.

[0028] In einigen Ausführungsformen kann eine solche Vorrichtung ferner folgendes beinhalten: eine MEMS-Vorrichtung, die ausgestaltet ist, um die Gruppe der einfallenden Laserstrahlen von der Laserquelle zu empfangen und/oder eine MEMS-Steuerung, die ausgestaltet ist, um ein MEMS-Steuersignal an die MEMS-Vorrichtung zu erzeugen, wobei die MEMS-Vorrichtung die Gruppe der einfallenden Laserstrahlen an einer Gruppe von Positionen auf dem LCOS-SLM basierend auf dem MEMS-Steuersignal reflektiert, wobei das LCOS-SLM ausgestaltet ist, um die Gruppe der einfallenden Laserstrahlen an der Gruppe von Lagen zu empfangen, um die Gruppe der einfallenden Laserstrahlen an der Gruppe von Lagen zu modulieren und um eine zweite Gruppe von holografischen Wellenfronten aus der modulierten Gruppe der einfallenden Laserstrahlen an der Gruppe von Lagen zu erzeugen.

[0029] In einigen Ausführungsformen bildet jede holografische Wellenfront mindestens einen entsprechenden Brennpunkt. Ein Abschnitt des Zielmaterials wird an den Interferenzpunkten der Brennpunkte der zweiten Gruppe holografischer Wellenfronten erwärmt - und sogar ausgehärtet.

[0030] In einigen Ausführungsformen können die modulierten Laserstrahlen eine Kombination aus mindestens einem räumlich modulierten Phasenlicht und einem räumlich modulierten Amplitudenlicht beinhalten.

[0031] Der LCOS-SLM ist eine reflektierende Vorrichtung. Das heißt, der LCOS-SLM gibt räumlich modulierte Licht als Spiegelung aus.

[0032] Der Begriff „Hologramm“ bezieht sich auf die Aufzeichnung, die Amplituden- und/oder Phaseninformationen über das Objekt enthält. Unter dem Begriff „holografische Rekonstruktion“ versteht man die optische Rekonstruktion des Objekts, die durch das Beleuchten des Hologramms entsteht. Der Begriff „Wiedergabefeld“ wird verwendet, um sich auf die Ebene im Raum zu beziehen, in dem die holografische Rekonstruktion gebildet wird. Die Begriffe „Bild“ und „Bildbereich“ beziehen sich auf Bereiche des Wiedergabefeldes, die von Licht beleuchtet werden, das die holografische Rekonstruktion bildet.

[0033] Es wird hierin auf „holografische Wellenfronten“ in Bezug auf die Wellenfront des durch den räumlichen Lichtmodulator gebildeten räumlich modulierten Lichts verwiesen. Die Wellenfront wird als holografisch bezeichnet, da sie zu einer holografischen Rekonstruktion im Wiedergabefeld führt. In einigen Ausführungsformen führt die holografische Wellenfront zu einer holografischen Rekonstruktion durch

Interferenz auf dem Wiedergabefeld. In einigen Ausführungsformen wendet der räumliche Lichtmodulator eine räumlich variierende Phasenverzögerung auf die Wellenfront an. Jeder einfallende Laserstrahl führt daher zu einer entsprechenden holografischen Wellenfront. In einigen Ausführungsformen ist der LCOS-SLM ausgestaltet, um eine Vielzahl von einfallenden Laserstrahlen zu empfangen und eine entsprechende Vielzahl von holografischen Wellenfronten auszugeben.

[0034] Auch hierin wird auf jede holografische Wellenfront „bildende Brennpunkte“ in Bezug auf die Bildung der holografischen Rekonstruktion auf dem Wiedergabefeld hingewiesen. Der Begriff „Brennpunkte“ bezieht sich auf das Vorhandensein von Konzentrationen optischer Energie im Wiedergabefeld. So kann beispielsweise jede holografische Wellenfront das Licht in eine Vielzahl von relativ kleinen Bereichen im Wiedergabefeld konzentrieren. Der Begriff „fokal“ oder „Brenn-“, spiegelt daher nur wider, dass die optische Energie konzentriert ist. Der Begriff „Punkte“ spiegelt daher nur wider, dass diese Konzentrationsbereiche in der Mehrzahl sein können und relativ klein sein können, um eine hohe Energiedichte zu erreichen. So kann beispielsweise ein empfangener Laserstrahl durch den räumlichen Lichtmodulator auf eine Vielzahl von Punkten im Wiedergabefeld konzentriert oder fokussiert werden.

[0035] In Bezug auf den Betrieb des SLM werden die Begriffe „Kodieren“, „Schreiben“ oder „Adressieren“ verwendet, um den Prozess des Bereitstellens der Vielzahl von Pixeln des SLM mit einer Vielzahl von Steuerwerten zu beschreiben, die jeweils den Modulationsgrad jedes Pixels bestimmen. Es kann gesagt werden, dass die Pixel des SLM ausgestaltet sind, um eine Lichtmodulationsverteilung als Reaktion auf das Empfangen der Vielzahl von Steuerwerten „anzuzeigen“.

[0036] Der Begriff „Licht“ wird hierin im weitesten Sinne verwendet. Einige Ausführungsformen sind gleichermaßen auf sichtbares Licht, Infrarotlicht und ultraviolettes Licht und jede Kombination davon anwendbar.

[0037] Einige Ausführungsformen beschreiben nur exemplarisch 1D- und 2D-Hologrammrekonstruktionen. In anderen Ausführungsformen ist die holografische Rekonstruktion eine holographische Rekonstruktion in 3D. Das heißt, dass jedes computergenerierte Hologramm in einigen Ausführungsformen holographische Rekonstruktion in 3D bildet.

[0038] Einige Ausführungsformen beziehen sich nur exemplarisch auf einen Laser, und die vorliegende Anwendung ist ebenso auf alle Lichtquellen mit ausreichender optischer Energie anwendbar, um ein

Zielmaterial - z. B. ein 3D-Druckvorläufermaterial - wie beschrieben zu erhitzen und auszuhärten.

durch, um eine holografische Rekonstruktion am Bildschirm zu erzeugen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0039] Es wurde festgestellt, dass eine holographische Rekonstruktion von akzeptabler Qualität aus einem „Hologramm“ gebildet werden kann, das nur Phaseninformationen in Bezug auf das ursprüngliche Objekt enthält. Eine solche holographische Aufzeichnung kann als Phasenhologramm bezeichnet werden. Einige Ausführungsformen beziehen sich nur exemplarisch auf die Phasenholographie. Das heißt, dass der räumliche Lichtmodulator in einigen Ausführungsformen nur eine Phasenverzögerungsverteilung auf das einfallende Licht anwendet. In einigen Ausführungsformen ist die von jedem Pixel angewandte Phasenverzögerung mehrstufig. Das heißt, dass jeder Pixel auf eine der diskreten Zahlen der Phasenebenen gesetzt werden kann. Die diskrete Anzahl der Phasenstufen kann aus einem viel größeren Satz von Phasenstufen oder einer „Palette“ ausgewählt werden.

[0040] In einigen Ausführungsformen ist das computergenerierte Hologramm eine Fourier-Transformation des Objekts zur Rekonstruktion. In diesen Ausführungsformen kann man sagen, dass das Hologramm eine Fourier-Domäne oder Frequenzbereichsdarstellung des Objekts ist. Einige Ausführungsformen verwenden einen reflektierenden SLM, um ein phasenreines Fourier-Hologramm anzuzeigen und eine holografische Rekonstruktion auf einem Wiedergabefeld zu erzeugen, z. B. eine lichtempfindliche Oberfläche wie einen Bildschirm oder einen Diffusor.

[0041] Eine Lichtquelle, zum Beispiel ein Laser oder eine Laserdiode, wird verwendet, um den SLM 140 über eine Kollimationslinse zu beleuchten. Die Kollimationslinse erzeugt eine grundsätzlich planare Wellenfront des Lichts, das in den SLM einfällt. Die Richtung der Wellenfront weicht vom Normalwert ab (z. B. zwei oder drei Grad von einer wahrhaftigen Rechtwinkligkeit zur Ebene der transparenten Schicht). In anderen Ausführungsformen wird die im Allgemeinen ebene Wellenfront bei normalem Einfall beispielsweise unter Verwendung eines Strahlteilers bereitgestellt. Die Ausführungsformen, die Anordnung ist so, dass Licht von der Lichtquelle von der gespiegelten hinteren Oberfläche des SLM reflektiert wird und mit einer phasenmodulierenden Schicht interagiert, um eine austretende Wellenfront zu schaffen. Die austretende Wellenfront wird auf die Optiken angewandt, einschließlich einer Fourier-Transformationslinse, deren Fokus auf einem Bildschirm ist.

[0042] Die Fourier-Transformationslinse empfängt einen Strahl phasenmodulierten Lichts aus dem SLM und führt eine Frequenz-Raum-Transformation

[0043] Das Licht fällt über die phasenmodulierende Schicht (d. h. die Anordnung der phasenmodulierenden Elemente) des SLM ein. Moduliertes Licht, das aus der phasenmodulierenden Schicht austritt, wird über das Wiedergabefeld verteilt. Vor allem bei dieser Art Holografie trägt jedes Pixel des Hologramms zur gesamten Rekonstruktion bei. Das heißt, es gibt keine Eins-zu-Eins-Korrelation zwischen bestimmten Punkten auf dem Wiedergabefeld und bestimmten phasenmodulierenden Elementen.

[0044] In diesen Ausführungsformen wird die Position der holografischen Rekonstruktion im Raum durch die dioptrische (Fokussier-)Leistung der Fourier-Transformationslinse bestimmt. In einigen Ausführungsformen ist die Fourier-Transformationslinse eine physische Linse. Das heißt, die Fourier-Transformationslinse ist eine optische Fourier-Transformationslinse und die Fourier-Transformation wird optisch durchgeführt. Jede Linse kann als Fourier-Transformationslinse fungieren, aber die Leistung der Linse begrenzt die Genauigkeit der von ihr durchgeführten Fourier-Transformation. Der Fachmann versteht es, mit einer Linse eine optische Fourier-Transformation durchzuführen. In anderen Ausführungsformen wird die Fourier-Transformation jedoch rechnerisch durchgeführt, indem Linsendaten in die holografischen Daten einbezogen werden. Das heißt, das Hologramm beinhaltet sowohl Daten, die für eine Linse repräsentativ sind, als auch Daten, die das Bild darstellen. Im Bereich des computergenerierten Hologramms ist es bekannt, wie man holografische Daten berechnet, die für eine Linse repräsentativ sind. Die holografischen Daten, die für eine Linse repräsentativ sind, können als Softwarelinse bezeichnet werden. So kann beispielsweise eine phasenreine holografische Linse gebildet werden, indem die Phasenverzögerung berechnet wird, die durch jeden Punkt der Linse aufgrund ihres Brechungsindex und ihrer räumlich variierenden optischen Weglänge verursacht wird. So ist beispielsweise die optische Weglänge in der Mitte einer konvexen Linse größer als die optische Weglänge an den Rändern der Linse. Eine amplitudenreine holografische Linse kann durch eine Fresnel-Zonenplatte gebildet werden. Im Stand der Technik des computergenerierten Hologramms ist es auch bekannt, wie man holografische Daten, die eine Linse darstellen, mit holografischen Daten, die das Objekt darstellen, kombiniert, so dass eine Fourier-Transformation durchgeführt werden kann, ohne dass eine physische Fourier-Linse erforderlich ist. In einigen Ausführungsformen werden die Linsendaten durch einfache Vektoraddition mit den holografischen Daten kombiniert. In einigen Ausführungsformen wird eine physische Linse in Verbindung mit einer Softwarelinse verwendet, um die Fourier-Transformation durchzuführen. Alternativ entfällt in anderen Ausführ-

rungsformen die Fourier-Transformationslinse ganz, so dass die holografische Rekonstruktion im Fernfeld stattfindet. In weiteren Ausführungsformen kann das Hologramm Gitterdaten beinhalten, d. h. Daten, die so angeordnet sind, dass sie die Funktion eines Gitters erfüllen, wie beispielsweise die Strahlführung. Auch hier ist es im Bereich des computergenerierten Hologramms bekannt, wie man solche holografischen Daten berechnet und mit holografischen Daten kombiniert, die das Objekt darstellen. So kann beispielsweise ein phasenreines holografisches Gitter gebildet werden, indem die Phasenverzögerung modelliert wird, die durch jeden Punkt auf der Oberfläche eines geflammten Gitters verursacht wird. Ein amplitudenreines holografisches Gitter kann einfach über ein amplitudenreines Hologramm gelegt werden, das für ein Objekt repräsentativ ist, um eine Winkelführung eines amplitudenreinen Hologramms zu ermöglichen.

[0045] In einigen Ausführungsformen ist das Hologramm lediglich eine Softwarelinse. Das heißt, die Softwarelinse wird nicht mit anderen holografischen Daten kombiniert, wie beispielsweise holografischen Daten, die ein Objekt darstellen. In einigen Ausführungsformen beinhaltet das Hologramm eine Softwarelinse und ein Softwaregitter, die so angeordnet sind, dass sie die räumliche Lage des von der Softwarelinse fokussierten Lichts bestimmen. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Hologramm jedes beliebige Lichtfeld erzeugen kann. In einigen Ausführungsformen wird eine Vielzahl von holografisch geformten Lichtfeldern gestört - zum Beispiel konstruktiv gestört -, um unterschiedliche fokussierte Lichtfeldbereiche zu bilden. Es sollte daher verstanden werden, dass, da der räumliche Lichtmodulator mit verschiedenen Hologrammen dynamisch rekonfigurierbar ist, die einzelnen fokussierten Lichtfeldbereiche softwaregesteuert sind. Daher ist ein holografisches System zum kontrollierten Bestrahlen eines Ziels mit mindestens einem klar fokussierten Lichtfeldbereich - z. B. einem Bereich konstruktiver Interferenz mit relativ hoher Intensität - z. B. Energie oder Leistungsdichte - vorgesehen.

[0046] Ein Fourier-Hologramm eines gewünschten 2D-Bildes kann auf verschiedene Weise berechnet werden, unter anderem mit Algorithmen wie dem Gerchberg-Saxton-Algorithmus. Der Gerchberg-Saxton-Algorithmus kann zur Ableitung von Phaseninformationen in der Fourier-Domäne aus den Amplitudeninformationen in der räumlichen Domäne verwendet werden (wie einem 2D-Bild). Das heißt, dass Phaseninformationen in Verbindung mit dem Objekt von der Intensität oder Amplitude „abgefragt“ werden können, aber nur Informationen aus der räumlichen Domäne. Dementsprechend kann eine reine Phasen-Fourier-Transformation des Objekts berechnet werden.

[0047] In einigen Ausführungsformen wird ein computergeneriertes Hologramm aus Amplitudeninformationen mit dem Gerchberg-Saxton-Algorithmus oder einer Variation davon berechnet. Der Gerchberg-Saxton-Algorithmus berücksichtigt das Phasenabfrageproblem, wenn Intensitätsquerschnitte eines Lichtstrahls, $I_A(x, y)$ und $I_B(x, y)$ in den entsprechenden Schichten A und B bekannt sind und $I_A(x, y)$ und $I_B(x, y)$ durch eine einzelne Fourier-Transformation verbunden sind. Innerhalb der jeweiligen Intensitätsquerschnitte kann eine Annäherung an die Phasenverschiebung in den Schichten A und B, entsprechend $\Psi_A(x, y)$ und $\Psi_B(x, y)$, gefunden werden. Der Gerchberg-Saxton-Algorithmus findet Lösungen für dieses Problem, indem ein iterativer Prozess befolgt wird.

[0048] Der Gerchberg-Saxton-Algorithmus wendet die räumlichen und spektralen Beschränkungen wiederholt an, während ein Datensatz (Amplitude und Phase), entsprechend $I_A(x, y)$ und $I_B(x, y)$, zwischen der räumlichen Domäne und der Fourier (spektralen) Domäne wiederholt übertragen wird. Die räumlichen und spektralen Beschränkungen sind $I_A(x, y)$ und entsprechend $I_B(x, y)$. Die Beschränkungen der räumlichen oder spektralen Domäne werden der Amplitude des Datensatzes auferlegt. Die entsprechenden Phaseninformationen werden über eine Reihe von Wiederholungen abgefragt.

[0049] In einigen Ausführungsformen wird das Hologramm unter Verwendung eines Algorithmus berechnet, der auf dem Gerchberg-Saxton-Algorithmus basiert, wie er im britischen Patent 2,498,170 oder 2,501,112 beschrieben ist.

[0050] In einigen Ausführungsformen ist eine Echtzeit-Maschine vorgesehen, die so angeordnet ist, dass sie Bilddaten empfängt und Hologramme in Echtzeit unter Verwendung des Algorithmus berechnet. In einigen Ausführungsformen sind die Bilddaten ein Video, das eine Folge von Bildrahmen umfasst. In weiteren Ausführungsformen werden die Hologramme vorberechnet, im Computerspeicher gespeichert und bei Bedarf für die Anzeige auf einem SLM abgerufen. Das heißt, in einigen Ausführungsformen ist ein Aufbewahrungsort mit vorgegebenen Hologrammen vorhanden.

[0051] Einige Ausführungsformen beziehen sich jedoch nur exemplarisch auf die Fourier-Holografie und Algorithmen vom Typ Gerchberg-Saxton. Die vorliegende Offenbarung gilt gleichermaßen für die Fresnel-Holografie und für Hologramme, die mit anderen Techniken berechnet wurden, wie beispielsweise denen, die auf Punktwolkenverfahren basieren.

[0052] Der SLM kann räumlich moduliertes Licht als Spiegelung oder Transmission ausgeben. Der SLM ist ein LCOS-SLM mit Flüssigkristall auf Silizium.

[0053] Fig. 1 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für eine dynamische Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht. Eine dynamische Holografie-Druckvorrichtung **106** beinhaltet eine Laserquelle **110**, ein LCOS-SLM **112**, eine holografische Drucksteuerung **102**, einen Prozessor **114**, Sensoren **104** und eine Speichervorrichtung **108**.

[0054] Die Laserquelle **110** erzeugt einen oder mehrere Laserstrahlen (z. B. mindestens 1W). Die Laserquelle **110** lenkt den/die Laserstrahl(en) auf den LCOS-SLM **112**. Der LCOS-SLM **112** moduliert den (die) einfallenden Laserstrahl(en) (z. B. Laserlicht von der Laserquelle **110**) basierend auf Signalen von dem Prozessor **114** auf erzeugtes reflektiertes Licht (z. B. moduliertes Laserlicht). Das moduliertes Laserlicht vom LCOS-SLM **112** bildet eine (mehrere) holografische Wellenfront(en). An den konstruktiven Interferenzpunkten der holografischen Wellenfront(en) entsteht Wärme. Die Wärme kann geformt, manipuliert und gesteuert werden, indem die Modulation der einfallenden Laserstrahlen, die Anzahl der einfallenden Laserstrahlen sowie die Intensität und Richtung der Laserstrahlen eingestellt werden. Die Wärme kann genutzt werden, um bestimmte dreidimensionale Bereiche in einem Zielmaterial für den dreidimensionalen Druck auszuhärten. Das heißt, die Form der erwärmten Fläche wird durch Steuern des Hologramms (oder der Hologramme) gesteuert, das auf dem räumlichen Lichtmodulator dargestellt wird. In einigen Ausführungsformen ist der räumliche Lichtmodulator ausgestaltet, um mindestens eine phasenreine Linse bereitzustellen, um das empfangene Licht zu mindestens einem entsprechenden Brennpunkt zu bringen. In einigen Ausführungsformen ist der räumliche Lichtmodulator ausgestaltet, um mindestens eine reine Phasenlinse und mindestens ein entsprechendes Gitter bereitzustellen, um das entsprechende fokussierte Licht steuerbar zu positionieren.

[0055] Die holografische Drucksteuerung **102** erzeugt ein Lasersteuersignal an die Laserquelle **110** und ein LCOS-SLM **112** Steuersignal an den LCOS-SLM **112** basierend auf dem vom Prozessor **114** identifizierten Muster.

[0056] Der Prozessor **114** beinhaltet eine dynamische Holografie-Druckanwendung **118** zum Steuern und Lenken von Interferenzbereichen (z. B. Heizbereiche). Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** identifiziert ein Druckmuster und eine Lage relativ zu einer Oberfläche des LCOS-SLM **112**. Das Druckmuster und der Abstand zur Oberfläche des Zielmaterials können vom Benutzer ausgewählt oder basierend auf Daten von Sensoren **104** bestimmt werden.

[0057] In einer exemplarischen Ausführungsform identifiziert die dynamische Holografie-Druckanwen-

dung **118** vordefinierte räumliche Lagen, die dem gewünschten Druckmuster (z. B. ein dreidimensionales Objektmodell) in einem Zielmaterial entsprechen. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** erzeugt das LCOS-SLM-Steuersignal und das Lasersteuersignal, um eine Position der Brennpunkte der modulierten Vielzahl einfallender Laserstrahlen so einzustellen, dass sie den vorgegebenen räumlichen Lagen entspricht. Der LCOS-SLM **112** bildet die Wärmebereiche/Bereiche mit hoher Intensität an den Interferenzpunkten basierend auf den vordefinierten räumlichen Lagen zu dem 3D-Objekt im Zielmaterial durch Aushärten der entsprechenden Bereiche.

[0058] In einer weiteren exemplarischen Ausführungsform identifiziert die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** einen ersten Satz vordefinierter räumlicher Lagen, die an das LCOS-SLM **112** angrenzen und passt das Lasersteuersignal und das LCOS-SLM-Steuersignal basierend auf den ersten vordefinierten räumlichen Lagen an. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** bestimmt einen eingestellten Brennpunkt des Satzes modulierter Laserlichtstrahlen basierend auf dem ersten Satz vordefinierter räumlicher Lagen. Der LCOS-SLM **112** bildet die unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereiche an den Interferenzpunkten basierend auf dem Satz von Brennpunkten des modulierten Laserlichtstrahlsatzes.

[0059] In einer weiteren exemplarischen Ausführungsform identifiziert die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** einen weiteren Satz vordefinierter räumlicher Lagen und passt das Lasersteuersignal und das LCOS-SLM-Steuersignal basierend auf dem anderen Satz vordefinierter räumlicher Lagen an. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** bestimmt die Brennpunkte der modulierten Laserlichtstrahlen basierend auf dem anderen Satz vordefinierter räumlicher Lagen. Der LCOS-SLM **112** ändert die Lage des Plasmas von den Interferenzpunkten basierend auf dem Satz von Brennpunkten zu den Interferenzpunkten basierend auf den Brennpunkten der modulierten Laserlichtstrahlen basierend auf dem anderen Satz vordefinierter räumlicher Lagen.

[0060] In einer weiteren exemplarischen Ausführungsform erhält die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** eine Identifikation einer räumlichen Lage und eines geometrischen Druckmusters basierend auf einem dreidimensionalen Inhalt (z. B. einem 3D-Modell). Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** identifiziert eine Reihe von Brennpunkten, die der Identifizierung der räumlichen Lage und des geometrischen Druckmusters entsprechen. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** passt das Lasersteuersignal und das LCOS-SLM-Steuersignal basierend auf dem Satz von Brennpunkten an. An den Interferenzpunkten wird basierend auf

dem Satz von Brennpunkten Wärme gebildet. In einigen Ausführungsformen wird an den Interferenzpunkten basierend auf dem zweiten Satz von Brennpunkten Plasma gebildet. In diesen Ausführungsformen ist das Plasma für die lokale Erwärmung verantwortlich.

[0061] In einer weiteren exemplarischen Ausführungsform empfängt die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** eine Identifizierung einer räumlichen Lage und eines geometrischen Musters des Plasmas und identifiziert einen Satz von Interferenzpunkten, die der Identifizierung der räumlichen Lage und des geometrischen Druckmusters entsprechen. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** identifiziert einen zweiten Satz von Brennpunkten basierend auf dem Satz von Interferenzpunkten und passt das Lasersteuersignal und das LCOS-SLM-Steuersignal basierend auf der zweiten Vielzahl von Brennpunkten an. Plasma kann an den Interferenzpunkten basierend auf dem zweiten Satz von Brennpunkten gebildet werden.

[0062] In einer weiteren exemplarischen Ausführungsform ruft der Prozessor **114** den Inhalt der Speichervorrichtung **108** ab, der einem von den Sensoren **104** erfassten physikalischen Objekt zugeordnet ist. In einer exemplarischen Ausführungsform identifiziert die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** ein bestimmtes physikalisches Objekt (z. B. eine Kugel) und erzeugt eine Lage und ein Druckmuster (z. B. ein 3D-Modell der Kugel).

[0063] Die Sensoren **104** beinhalten beispielsweise ein Thermometer, eine Infrarotkamera, ein Barometer, einen Feuchtigkeitssensor, einen EEG-Sensor, einen Näherungs- oder Ortungssensor (z. B. Nahfeldkommunikation, GPS, Bluetooth, Wifi), einen optischen Sensor (z. B. Kamera), einen Orientierungssensor (z. B. Gyroskop), einen Audiosensor (z. B. Mikrofon) oder eine geeignete Kombination davon. Es wird daraufhingewiesen, dass die hierin beschriebenen Sensoren zur Veranschaulichung dienen und die Sensoren **104** daher nicht auf die beschriebenen beschränkt sind.

[0064] Die Speichervorrichtung **108** speichert eine Identifikation der Sensoren und ihrer jeweiligen Funktionen. Die Speichervorrichtung **108** beinhaltet ferner eine Datenbank mit visuellen Referenzen (z. B. Bilder, visuelle Identifikatoren, Merkmale von Bildern) und entsprechenden geometrischen Plasmaformen und -mustern (z. B. Kugel, Strahl, Würfel).

[0065] In einer Ausführungsform kann die dynamische Holografie-Druckvorrichtung **106** über ein Computernetzwerk mit einem Server kommunizieren, um einen Teil einer Datenbank mit visuellen Referenzen abzurufen. Das Computernetzwerk kann jedes Netzwerk sein, das die Kommunikation zwischen oder

unter Maschinen, Datenbanken und Geräten ermöglicht (z. B. die dynamische Holografie-Druckvorrichtung **106**). Dementsprechend kann das Computernetzwerk ein verkabeltes Netzwerk, ein drahtloses Netzwerk (z. B. ein Mobil- oder Mobilfunknetz) oder eine geeignete Kombination davon sein. Das Computernetzwerk kann einen oder mehrere Abschnitte beinhalten, die ein privates Netzwerk, ein öffentliches Netzwerk (z. B. das Internet) oder eine geeignete Kombination davon bilden.

[0066] Jedes oder mehrere der hierin beschriebenen Module können mit Hardware (z. B. einem Prozessor einer Maschine) oder einer Kombination aus Hard- und Software implementiert werden. So kann beispielsweise jedes hierin beschriebene Modul einen Prozessor so ausgestalten, dass er die hierin beschriebenen Vorgänge für dieses Modul ausführt. Darüber hinaus können zwei oder mehr dieser Module zu einem einzigen Modul kombiniert werden, und die hierin für ein einziges Modul beschriebenen Funktionen können auf mehrere Module aufgeteilt werden. Darüber hinaus können gemäß verschiedenen exemplarischen Ausführungsformen Module, die hierin als innerhalb einer einzelnen Maschine, Datenbank oder Vorrichtung implementiert beschrieben werden, über mehrere Maschinen, Datenbanken oder Vorrichtungen verteilt sein.

[0067] Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, das ein weiteres Beispiel für eine dynamische Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht. Die dynamische Holografie-Druckvorrichtung **106** beinhaltet den LCOS-SLM **112**, eine LCOS-SLM-Steuerung **202**, die Laserquelle **110**, eine Lasersteuerung **204**, eine holografische Drucksteuerung **102** und den Prozessor **114** einschließlich der dynamischen Holografiedruckanwendung **118**.

[0068] Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** identifiziert ein Wärmemuster (oder Druckmuster) und berechnet die Lage und Muster der Interferenzpunkte holografischer Wellen, um das Wärmemuster zu bilden. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** übermittelt die Lage und die Muster der Interferenzpunkte an die holografische Drucksteuerung **102**. In einer weiteren exemplarischen Ausführungsform berechnet die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** die Lagen und Muster der Interferenzpunkte und erzeugt ein Lasersteuersignal und ein LCOS-SLM-Steuersignal an die holografische Drucksteuerung **102** basierend auf den berechneten Lagen und Mustern der Interferenzpunkte.

[0069] Die holografische Drucksteuerung **102** sendet das Lasersteuersignal an die Lasersteuerung **204**. Die holografische Drucksteuerung **102** sendet auch das LCOS-SLM-Steuersignal an die holografische Drucksteuerung **102**. Die Lasersteuerung **204**

erzeugt und kommuniziert das Lasersteuersignal, um eine Intensität, eine Anzahl von Strahlen und eine Strahlrichtung der Laserquelle **110** zu steuern. Die LCOS-SLM-Steuerung **202** erzeugt und kommuniziert das LCOS-SLM-Steuersignal, um den LCOS-SLM **112** so zu steuern, dass er das Laserlicht von der Laserquelle **110** so moduliert, dass die Wellenfrontinterferenz Energie (z. B. Wärme) erzeugt.

[0070] Fig. 2 veranschaulicht die Laserquelle **110**, die einen ersten einfallenden Laserstrahl und einen zweiten einfallenden Laserstrahl erzeugt, der auf den LCOS-SLM **112** gerichtet ist. Der LCOS-SLM **112** erzeugt den ersten einfallenden Laserstrahl in einen ersten Satz von holografischen Lichtfeldern **214** (z. B. eine erste holografische Wellenfront) und den zweiten einfallenden Laserstrahl in einen zweiten Satz von holografischen Lichtfeldern **216** (z. B. eine zweite holografische Wellenfront). Die konstruktive Interferenz zwischen dem ersten Satz von holografischen Lichtfeldern **214** und dem zweiten Satz von holografischen Lichtfeldern **216** bildet Wärme. Die Form und Lage der Wärme kann durch Anpassen der Steuersignale an die Lasersteuerung **204** und die LCOS-SLM-Steuerung **202** gesteuert und gelenkt werden.

[0071] Fig. 3 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für eine dynamische holografische Druckvorrichtung gemäß einer weiteren exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht. Die dynamische Holografie-Druckvorrichtung **106** beinhaltet den LCOS-SLM **112**, die LCOS-SLM-Steuerung **202**, die Laserquelle **110**, die Lasersteuerung **204**, eine MEMS-Vorrichtung **302**, eine MEMS-Steuerung **304** und eine Lasersteuerung **204**.

[0072] Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** identifiziert ein Muster und berechnet die Lage und Muster der Interferenzpunkte holografischer Wellen, um ein dreidimensionales Wärmemuster zu bilden. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** übermittelt die Lage und die Muster der Interferenzpunkte an die holografische Drucksteuerung **102**.

[0073] Die holografische Drucksteuerung **102** sendet das Lasersteuersignal an die Lasersteuerung **204**. Die holografische Drucksteuerung **102** sendet auch das LCOS-SLM-Steuersignal an die holografische Drucksteuerung **102**. In einer exemplarischen Ausführungsform sendet die holografische Drucksteuerung **102** ein MEMS-Steuersignal an die MEMS-Steuerung **304**.

[0074] Die MEMS-Steuerung **304** übermittelt das MEMS-Steuersignal an die MEMS-Vorrichtung **302**, um eine Richtung eines Laserstrahls von der Laserquelle **110** zu steuern. In einer exemplarischen Ausführungsform erzeugt die MEMS-Steuerung **304** ein Synchronisationssignal sowohl für die Laserquel-

le **110** als auch für die MEMS-Vorrichtung **302**. Das Synchronisationssignal ermöglicht es der MEMS-Vorrichtung **302**, entsprechende einzelne Lichtstrahlen der Laserquelle **110** zu betreiben und zu reflektieren.

[0075] Die MEMS-Vorrichtung **302** empfängt einen oder mehrere Laserstrahlen von der Laserquelle **110** und reflektiert entsprechende Einzellichtstrahlen zum LCOS-SLM **112**. Die MEMS-Vorrichtung **302** reflektiert die Lichtstrahlen basierend auf dem Synchronisationssignal von der MEMS-Steuerung **304** oder der holografischen Drucksteuerung **102**, um die entsprechenden einzelnen Lichtstrahlen an die entsprechenden Stellen des LCOS-SLM **112** zu leiten. Die MEMS-Vorrichtung **302** beinhaltet beispielsweise einen oder mehrere Spiegel. Die Lage und Ausrichtung der Spiegel wird basierend auf dem von der MEMS-Steuerung **304** empfangenen Synchronisationssignal gesteuert und eingestellt.

[0076] Fig. 4 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für einen Druckvorgang unter Verwendung einer dynamischen Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** identifiziert ein dreidimensionales Wärmemuster und berechnet die Lage und Muster der Interferenzpunkte holografischer Wellen, um das dreidimensionale Wärmemuster zu bilden. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** übermittelt die Lage und die Muster der Interferenzpunkte an die holografische Drucksteuerung **102**.

[0077] Fig. 4 veranschaulicht die Laserquelle **110**, die einen ersten einfallenden Laserstrahl und einen zweiten einfallenden Laserstrahl erzeugt, der auf den LCOS-SLM **112** gerichtet ist. Der LCOS-SLM **112** moduliert den ersten einfallenden Laserstrahl in einen ersten Satz von holografischen Lichtfeldern **402** (z. B. eine erste holografische Wellenfront) und den zweiten einfallenden Laserstrahl in einen zweiten Satz von holografischen Lichtfeldern **404** (z. B. eine zweite holografische Wellenfront). Die konstruktive/destruktive Interferenz **406** zwischen dem ersten Satz von holografischen Lichtfeldern **402** und dem zweiten Satz von holografischen Lichtfeldern **404** bildet Wärme. Die Form und Lage der Interferenz **406** kann durch Anpassen der Steuersignale an die Lasersteuerung **204** und die LCOS-SLM-Steuerung **202** gesteuert und gelenkt werden.

[0078] Die dynamische Holografie-Druckvorrichtung **106** kann die holografischen Lichtfelder so einstellen, dass sie sich räumlich bewegen. So beinhaltet beispielsweise das Ziel **206** härtpbares oder sinterbares Material, das sich bei der Interferenz **406** verfestigt. Die Aushärtungsrichtung **408** zeigt an, dass die Wellenfronten so eingestellt werden können, dass die Lage des Aushärtens/Sinterns so eingestellt werden

kann, dass eine Verfestigung an mehreren Stellen möglich ist.

[0079] Mehrere Bereiche von Interferenzen (**406**, **410**, **412**) können gleichzeitig gebildet werden, indem mehrere Sätze von holografischen Lichtfeldern erzeugt werden. Die mehrfachen Interferenzflächen bilden einen dreidimensionalen Raumbereich, der einem gedruckten 3D-Objekt entspricht. Jedes holografische Lichtfeld wird durch ein entsprechendes Hologramm auf einem SLM (oder einem herkömmlichen SLM) gebildet. In einigen Ausführungsformen beinhaltet jedes Hologramm holografische Daten, die eine Linsenfunktion und/oder eine Gitterfunktion bereitstellen, so dass Größe, Form und Lage jedes holografischen Lichtfeldes präzise gesteuert werden können. In einigen Ausführungsformen werden holografische Lichtfelder gestört - z. B. konstruktiv gestört -, um Lichtintensitäten zu erreichen, die für mindestens entweder das Erhitzen, das Aushärten oder das 3D-Drucken erforderlich sind.

[0080] Fig. 5 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für ein dreidimensional gedrucktes Objekt gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht. Die dynamische Holografie-Druckanwendung **118** erzeugt mehrere holografische Lichtfelder (**510**, **512**, **502**) unter Verwendung der zuvor in Bezug auf Fig. 4 beschriebenen Methoden. Die kombinierten Bereiche **510**, **512**, **502** bilden das ausgehärtete dreidimensionale Objekt **504** innerhalb des Materials im Ziel **206**. Auch hier können holografische Lichtfelder in unterschiedlichen Tiefen innerhalb des Zielmaterials erzeugt werden, indem die dioptrische Leistung der entsprechenden Softwarelinse ausgewählt wird.

[0081] Fig. 6 ist ein Diagramm, das einen Querschnitt eines Beispiels eines LCOS-SLM (Liquid Crystal on Silicon Spatial Light Modulator - Räumlicher Lichtmodulator mit Flüssigkristall auf Silizium) veranschaulicht. Ein LCOS-SLM **628** wird mithilfe eines einzelnen Siliziumsubstrats **616** gebildet. Das Substrat **616** besteht aus einer zweidimensionalen Anordnung quadratischer, ebener Aluminiumelektroden **612**, die durch einen Spalt **618** voneinander beabstandet sind und auf der Oberseite des Substrats **616** angeordnet sind. Die Elektroden **612** sind über eine im Substrat **616** eingebaute Schaltung **614** mit dem Substrat **616** verbunden. Jede Elektrode **612** formt einen entsprechenden ebenen Spiegel. Die Elektroden **612** können an die LCOS-SLM-Steuerung **626** angeschlossen werden. Mit anderen Worten, die Elektroden **612** empfangen das Steuersignal von der LCOS-SLM-Steuerung **626**.

[0082] Eine Ausrichtungsschicht **610** ist über dem zweidimensionalen Array der Elektroden **612** angeordnet und eine Flüssigkristallschicht **608** wird auf der Ausrichtungsschicht **610** angeordnet.

[0083] Eine zweite Ausrichtungsschicht **606** ist auf der Flüssigkristallschicht **608** angeordnet. Auf der Oberseite der zweiten Ausrichtungsschicht **606** ist eine ebene transparente Schicht **602** (z. B. aus Glas) angeordnet. Eine einzelne transparente Elektrode **604** wird zwischen der ebenen transparenten Schicht **602** und der zweiten Ausrichtungsschicht **606** angeordnet.

[0084] Jede der quadratischen Elektroden **612** definiert, zusammen mit dem überlagernden Bereich der transparenten Elektrode **604** und der dazwischenliegenden Flüssigkristallschicht **608**, ein steuerbares phasenmodulierendes Element **624** (das auch als Pixel bezeichnet wird). Der effektive Pixelbereich oder Füllfaktor ist der Prozentsatz der gesamten Pixel, der, unter Berücksichtigung des Raums oder der Lücke **618** zwischen den Pixeln, optisch aktiv ist. Durch Steuern der an jede Elektrode **612** angelegten Spannung in Bezug auf die transparente Elektrode **604** können die Eigenschaften des Flüssigkristallmaterials (in der Flüssigkristallschicht **608**) des jeweiligen Phasenmodulationselements verändert werden. Die Variation des Phasenmodulationselements bietet eine variable Verzögerung für das einfallende Licht **620**. Der Effekt besteht darin, eine Phasenmodulation für die Wellenfront zu schaffen, d. h. ohne Auftreten eines Amplitudeneffekts im resultierenden modulierten Licht (**622**).

[0085] Ein Vorteil der Verwendung eines reflektierenden LCOS-Raumlichtmodulators besteht darin, dass die Flüssigkristallschicht die Hälfte der Dicke aufweisen kann, die bei Verwendung einer transmissiven Vorrichtung erforderlich wäre. Dadurch wird die Schaltgeschwindigkeit des Flüssigkristalls (ein wichtiger Punkt für die Projektion von bewegten Videobildern) erheblich verbessert. Ein weiterer Vorteil ist, dass eine LCOS-Vorrichtung auch in der Lage ist, große Anordnungen von Phasenelementen in einer kleinen Öffnung darzustellen. Kleine Elemente (typischerweise etwa 10 Mikrometer oder kleiner) ergeben einen praktischen Beugungswinkel (wenige Grad), so dass das optische System keinen sehr langen optischen Weg benötigt.

[0086] Es ist einfacher, die kleine Öffnung (einige Quadratzentimeter) des LCOS SLM **628** zu beleuchten, als dies für die Öffnung einer größeren Flüssigkristallvorrichtung der Fall wäre. LCOS SLMs haben ein großes Öffnungsverhältnis, sodass nur sehr wenig ungenutzter Raum zwischen den Pixeln liegt (da die antreibenden Schaltungen in die Spiegel eingebettet sind). Die kleine Öffnung führt zu einer Verringerung des optischen Rauschens im Wiedergabefeld.

[0087] Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung einer Silizium-Backplane (z. B. Siliziumsubstrat **616**) hat

den Vorteil, dass die Pixel optisch flach sind, was für eine phasenmodulierende Vorrichtung wichtig ist.

[0088] Während sich Ausführungsformen auf einen reflektierenden LCOS SLM beziehen, werden Fachleute auf dem Gebiet erkennen, dass andere Arten von SLMs, einschließlich transmissiver SLMs, verwendet werden können.

[0089] Fig. 7 ist ein Flussdiagramm, das einen weiteren exemplarischen Vorgang einer dynamischen Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht. Bei Block 704 erhält die dynamische Holografie-Druckanwendung 118 eine Identifikation von vordefinierten räumlichen Lagen (z. B. gewünschte Lagen innerhalb eines Zielmaterials). Bei Block 706 berechnet die dynamische Holografie-Druckanwendung 118 die Lage der Interferenzpunkte von holografischen Wellenfronten (die vom LCOS-SLM 112 erzeugt werden sollen) entsprechend den vordefinierten räumlichen Lagen. Bei Block 708 berechnet die dynamische Holografie-Druckanwendung 118 die Lage der Brennpunkte entsprechend der Lage der Interferenzpunkte der holografischen Wellenfronten. Bei Block 710 erzeugt die dynamische Holografie-Druckanwendung 118 ein Lasersteuersignal für die Laserquelle 110 und ein LCOS-SLM-Steuersignal für den LCOS-SLM 112, um die holografischen Wellenfronten basierend auf der Lage der Brennpunkte zu bilden.

[0090] Fig. 8 ist ein Flussdiagramm, das einen weiteren exemplarischen Vorgang einer dynamischen Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht. Bei Block 804 erzeugt die Lasersteuerung 204 ein Lasersteuersignal an die Laserquelle 110, um eine Intensität eines Laserstrahls, eine Richtung eines Laserstrahls und eine Anzahl von Laserstrahlen zu steuern. Bei Block 806 erzeugt die LCOS-SLM-Steuerung 202 ein LCOS-SLM-Steuersignal an den LCOS-SLM 112, um eine Modulation der auf den LCOS-SLM 112 gerichteten einfallenden Lichtstrahlen zu steuern. Bei Block 810 moduliert der LCOS-SLM 112 die einfallenden Laserstrahlen aus der Laserquelle 110. Bei Block 812 bildet der LCOS-SLM 112 aus den modulierten Laserstrahlen holografische Wellenfronten. Bei Block 814 wird Wärme an der Lage der Interferenzpunkte der holografischen Wellenfronten gebildet und die Wärme härtet das Zielmaterial an den entsprechenden Lagen der Wärme aus.

[0091] Fig. 9 ist ein Flussdiagramm, das einen weiteren exemplarischen Vorgang einer dynamischen Holografie-Druckvorrichtung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform veranschaulicht. Bei Block 904 empfängt die dynamische Holografie-Druckanwendung 118 Druckdaten, die einem dreidimensionalen Objekt entsprechen. Bei Block 906 berechnet die dynamische Holografie-Druckanwendung 118 basie-

rend auf den Druckdaten eine Lage der Interferenzpunkte innerhalb des Zielmaterials. Bei Block 908 berechnet die dynamische Holografie-Druckanwendung 118 die Lage der Brennpunkte entsprechend der Lage der Interferenzpunkte. Bei Block 910 erzeugt die dynamische Holografie-Druckanwendung 118 ein Lasersteuersignal für die Laserquelle 110 und ein LCOS-SLM-Steuersignal für einen LCOS-SLM 112, um holografische Wellenfronten basierend auf den Brennpunkten zu bilden.

[0092] Fig. 10 ist ein Blockdiagramm, das Komponenten einer Maschine 1000 veranschaulicht, die gemäß einigen exemplarischen Ausführungsformen in der Lage sind, Anweisungen 1006 von einem computerlesbaren Medium 1018 (z. B. einem nicht-flüchtigen, maschinenlesbaren Medium, einem maschinenlesbaren Speichermedium, einem computerlesbaren Speichermedium oder einer geeigneten Kombination derselben) zu lesen und eine oder mehrere der hierin beschriebenen Methodiken ganz oder teilweise auszuführen. Insbesondere kann die Maschine 1000 in der exemplarischen Form eines Computersystems (z. B. ein Computer) ausgeführt werden, in dem die Anweisungen 1006 (z. B. Software, ein Programm, eine Anwendung, ein Applet, eine App oder ein anderer ausführbarer Code), die die Maschine 1000 veranlassen, eine oder mehrere der hierin beschriebenen Methodiken auszuführen, ganz oder teilweise ausgeführt werden.

[0093] In alternativen Ausführungsformen arbeitet die Maschine 1000 als eigenständige Vorrichtung oder kann kommunikativ mit anderen Maschinen gekoppelt (z. B. vernetzt) werden. In einer vernetzten Verwendung kann die Maschine 1000 als eine Servermaschine oder eine Client-Maschine in einer Server-Client-Netzwerkumgebung oder als eine Peer-Maschine in einer verteilten (z. B. Peer-to-Peer) Netzwerkumgebung betrieben werden. Die Maschine 1000 kann ein Servercomputer, ein Client-Computer, ein Personal-Computer (PC), ein Tablet-Computer, ein Laptop-Computer, ein Netbook, ein Mobiltelefon, ein Smartphone, eine Set-Top-Box (STB), ein Personal Digital Assistant (PDA), ein Webgerät, ein Netzwerk-Router, ein Netzwerk-Switch, eine Netzwerkbrücke oder eine beliebige Maschine sein, die in der Lage ist, die Anweisungen 1006 sequentiell oder anderweitig auszuführen, die Handlungen festlegen, die von dieser Maschine auszuführen sind. Darüber hinaus, obwohl nur eine einzelne Maschine veranschaulicht ist, ist unter dem Begriff „Maschine“ auch jede Sammlung von Maschinen zu verstehen, die einzeln oder gemeinsam die Anweisungen 1006 ausführen, um eine oder mehrere der hierin beschriebenen Methodiken ganz oder teilweise durchzuführen.

[0094] Die Maschine 1000 beinhaltet einen Prozessor 1004 (z. B. eine Zentraleinheit (CPU)), eine Grafikverarbeitungseinheit (GPU), einen digitalen Signal-

prozessor (DSP), eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC), eine hochfrequente integrierte Schaltung (RFIC) oder eine geeignete Kombination derselben), einen Hauptspeicher **1010** und einen statischen Speicher **1022**, die ausgestaltet sind, um über einen Bus **1012** miteinander zu kommunizieren. Der Prozessor **1004** enthält digitale Festkörper-Mikroschaltungen (z. B. elektronisch, optisch oder beides), die durch einige oder alle Anweisungen **1006** vorübergehend oder dauerhaft ausgestaltbar sind, so dass der Prozessor **1004** ausgestaltbar ist, um eine oder mehrere der hierin beschriebenen Methodiken ganz oder teilweise auszuführen. So kann beispielsweise ein Satz von einem oder mehreren Mikroschaltungen des Prozessors **1004** ausgestaltbar sein, um ein oder mehrere der hierin beschriebenen Module (z. B. Softwaremodule) auszuführen. In einigen exemplarischen Ausführungsformen ist der Prozessor **1004** eine Multicore-CPU (z. B. eine Dual-Core-CPU, eine Quad-Core-CPU oder eine 128-Core-CPU), in der sich jeder der mehreren Kerne wie ein separater Prozessor verhält, der in der Lage ist, eine oder mehrere der hierin beschriebenen Methodiken ganz oder teilweise auszuführen. Obwohl die hierin beschriebenen positiven Effekte von der Maschine **1000** mit mindestens dem Prozessor **1004** bereitgestellt werden können, können diese positiven Effekte von einer anderen Art von Maschine bereitgestellt werden, die keine Prozessoren enthält (z. B. ein rein mechanisches System, ein rein hydraulisches System oder ein hybrides mechanisch-hydraulisches System), wenn eine solche Maschine ohne Prozessor ausgestaltet ist, um eine oder mehrere der hierin beschriebenen Methodiken durchzuführen.

[0095] Die Maschine **1000** kann ferner eine Videoanzeige **1008** beinhalten (z. B. eine Plasmaanzeigetafel (PDP), eine Leuchtdiodenanzeige (LED), eine Flüssigkristallanzeige (LCD), einen Projektor, eine Kathodenstrahlröhre (CRT) oder jede andere Anzeige, die Grafiken oder Videos anzeigen kann). Die Maschine **1000** kann auch eine alphanumerische Eingabevorrichtung **1014** (z. B. eine Tastatur oder ein Keypad), eine Cursorsteuervorrichtung **1016** (z. B. eine Maus, ein Touchpad, ein Trackball, ein Joystick, einen Bewegungssensor, eine Blickverfolgungsvorrichtung oder ein anderes Zeigeeinstrument), eine Antriebseinheit **1002**, eine Signalerzeugungsvorrichtung **1020** (z. B. eine Soundkarte, ein Verstärker, ein Lautsprecher, eine Kopfhörerbuchse oder eine geeignete Kombination davon) und eine Netzwerkschnittstellenvorrichtung **1024** beinhalten.

[0096] Die Antriebseinheit **1002** (z. B. eine Datenspeichervorrichtung) beinhaltet das computerlesbare Medium **1018** (z. B. ein greifbares und nicht-flüchtiges maschinenlesbares Speichermedium), auf dem die Anweisungen **1006** gespeichert sind, die eine oder mehrere der hierin beschriebenen Methodiken oder Funktionen enthalten. Die Anweisungen

1006 können sich auch ganz oder zumindest teilweise im Hauptspeicher **1010**, im Prozessor **1004** (z. B. im Cache-Speicher des Prozessors) oder in beiden vor oder während der Ausführung durch die Maschine **1000** befinden. Dementsprechend können der Hauptspeicher **1010** und der Prozessor **1004** als maschinenlesbare Medien (z. B. physisch greifbare und nicht flüchtige maschinenlesbare Medien) betrachtet werden. Die Anweisungen **1006** können über ein Computernetzwerk über die Netzwerkschnittstellenvorrichtung **1024** gesendet oder empfangen werden. So kann beispielsweise die Netzwerkschnittstellenvorrichtung **1024** die Anweisungen **1006** über ein oder mehrere Übertragungsprotokolle (z. B. Hypertext-Übertragungsprotokoll (HTTP)) übermitteln.

[0097] In einigen exemplarischen Ausführungsformen kann die Maschine **1000** eine tragbare Computervorrichtung (z. B. ein Smartphone, Tablet-Computer oder eine tragbare Vorrichtung) sein und eine oder mehrere zusätzliche Eingabekomponenten (z. B. Sensoren oder Messgeräte) aufweisen. Beispiele für solche Eingabekomponenten sind eine Bildeingabekomponente (z. B. eine oder mehrere Kameras), eine Audioeingabekomponente (z. B. ein oder mehrere Mikrofone), eine Richtungseingabekomponente (z. B. ein Kompass), eine Positionseingabekomponente (z. B. ein GPS-Empfänger), eine Orientierungskomponente (z. B. ein Gyroskop), eine Bewegungserkennungskomponente (z. B. ein oder mehrere Beschleunigungsmesser), eine Höhendetektionskomponente (z. B. ein Höhenmesser), eine biometrische Eingabekomponente (z. B. ein Herzschrittmacher oder ein Blutdruckmesser) und eine Gasdetektionskomponente (z. B. ein Gassensor). Die von einer oder mehreren dieser Eingabekomponenten gesammelten Eingabedaten können für die Verwendung durch eines der hierin beschriebenen Module zugänglich und verfügbar sein.

[0098] Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „Speicher“ auf ein maschinenlesbares Medium, das in der Lage ist, Daten vorübergehend oder dauerhaft zu speichern, und das unter anderem Direktzugriffsspeicher (RAM), Nur-Lese-Speicher (ROM), Pufferspeicher, Flash-Speicher und Cache-Speicher umfassen kann. Während das computerlesbare Medium **1018** in einer exemplarischen Ausführungsform als einzelnes Medium gezeigt ist, sollte der Begriff „maschinenlesbares Medium“ ein einzelnes Medium oder mehrere Medien (z. B. eine zentrale oder verteilte Datenbank oder zugehörige Caches und Server) beinhalten, die imstande sind, Anweisungen zu speichern. Unter dem Begriff „maschinenlesbares Medium“ ist auch jedes Medium oder jede Kombination von mehreren Medien zu verstehen, das/die in der Lage ist/sind, die Anweisungen **1006** zum Ausführen durch die Maschine **1000** zu speichern, so dass die Anweisungen **1006**, wenn sie von einem oder mehreren Prozessoren der Maschine **1000** (z. B. Pro-

zessor **1004**) ausgeführt werden, die Maschine **1000** veranlassen, eine oder mehrere der hierin beschriebenen Methodiken ganz oder teilweise auszuführen. Dementsprechend bezieht sich ein „maschinenlesbares Medium“ auf eine einzelne Speichervorrichtung oder ein einzelnes Speichergerät, sowie Cloud-basierte Speichersysteme oder Speichernetzwerke, die mehrere Speichervorrichtungen oder -geräte beinhalten. Der Begriff „maschinenlesbares Medium“ umfasst daher unter anderem ein oder mehrere physisch greifbare und nicht flüchtige Datenspeicher (z. B. Datenmengen) in Form eines Festkörperspeicherchips, einer optischen Platte, einer Magnetplatte oder einer geeigneten Kombination derselben. Ein „nicht-flüchtiges“ maschinenlesbares Medium, wie es hierin verwendet wird, beinhaltet insbesondere nicht die Ausbreitung von Signalen an sich. In einigen exemplarischen Ausführungen können die Anweisungen **1006** zum Ausführen durch die Maschine **1000** über ein Trägermedium übermittelt werden. Beispiele für ein solches Trägermedium sind ein Speichermedium (z. B. ein nicht flüchtiges, maschinenlesbares Speichermedium, wie ein Festkörperspeicher, das physikalisch von einem Ort zum anderen bewegt wird) und ein transientes Medium (z. B. ein Ausbreitungssignal, das die Anweisungen **1006** übermittelt).

[0099] Bestimmte exemplarische Ausführungsformen werden hierin als Module beinholdend beschrieben. Module können Softwaremodule (z. B. Code, der in einem maschinenlesbaren Medium oder in einem Übertragungsmedium gespeichert oder anderweitig verkörpert ist), Hardwaremodule oder jede geeignete Kombination davon darstellen. Ein „Hardwaremodul“ ist eine greifbare (z. B. nicht flüchtige) physische Komponente (z. B. ein Satz von einem oder mehreren Prozessoren), die in der Lage ist, bestimmte Vorgänge durchzuführen, und die auf eine bestimmte physikalische Weise ausgestaltet oder angeordnet werden kann. In verschiedenen exemplarischen Ausführungsformen können ein oder mehrere Computersysteme oder ein oder mehrere Hardwaremodule davon durch Software (z. B. eine Anwendung oder ein Teil davon) als ein Hardwaremodul ausgestaltet werden, das zum Durchführen der hierin beschriebenen Vorgänge für dieses Modul betrieben wird.

[0100] In einigen exemplarischen Ausführungsformen kann ein Hardwaremodul mechanisch, elektronisch, hydraulisch oder in einer geeigneten Kombination davon implementiert werden. So kann beispielsweise ein Hardwaremodul eine dedizierte Schaltung oder Logik beinhalten, die dauerhaft ausgestaltet ist, um bestimmte Vorgänge durchzuführen. Ein Hardwaremodul kann ein Spezialprozessor sein oder beinhalten, wie beispielsweise ein Field Programmable Gate Array (FPGA) oder ein ASIC. Ein Hardwaremodul kann auch programmierbare Logik oder Schaltungen beinhalten, die vorübergehend von der Software ausgestaltet werden, um bestimmte Vorgänge aus-

zuführen. Als Beispiel kann ein Hardwaremodul Software beinhalten, die in einer CPU oder einem anderen programmierbaren Prozessor enthalten ist. Es ist zu beachten, dass die Entscheidung, ein Hardwaremodul mechanisch, hydraulisch, in dedizierten und fest konfigurierten Schaltungen oder in temporär konfigurierten Schaltungen (z. B. durch Software ausgestaltet) zu implementieren, aus Kosten- und Zeitgründen getroffen werden kann.

[0101] Dementsprechend sollte der Begriff „Hardwaremodul“ so verstanden werden, dass er eine materielle Einheit umfasst, die physisch konstruiert, dauerhaft ausgestaltet (z. B. fest verdrahtet) oder vorübergehend ausgestaltet (z. B. programmiert) werden kann, um in einer bestimmten Weise zu arbeiten oder bestimmte hierin beschriebene Vorgänge durchzuführen. Darüber hinaus bezieht sich der Begriff „hardware-implementiertes Modul“, wie hierin verwendet, auf ein Hardwaremodul. Zieht man exemplarische Ausführungsformen in Betracht, in denen Hardwaremodule vorübergehend ausgestaltet (z. B. programmiert) werden, so muss jedes der Hardwaremodule nicht zu irgendeinem Zeitpunkt ausgestaltet oder instanziiert werden. Wenn beispielsweise ein Hardwaremodul eine CPU beinhaltet, die durch Software ausgestaltet wurde, um zu einem Spezialprozessor zu werden, kann die CPU zu unterschiedlichen Zeiten als jeweils unterschiedliche Spezialprozessoren (z. B. jeder in einem anderen Hardwaremodul) ausgestaltet werden. Software (z. B. ein Softwaremodul) kann dementsprechend einen oder mehrere Prozessoren ausgestalten, um beispielsweise zu einem bestimmten Hardwaremodul zu werden oder anderweitig ein bestimmtes Hardwaremodul zu einem bestimmten Zeitpunkt zu bilden und zu einem anderen Zeitpunkt zu einem anderen Hardwaremodul zu werden oder anderweitig zu bilden.

[0102] Hardwaremodule können anderen Hardwaremodulen Informationen bereitstellen und Informationen von diesen empfangen. Dementsprechend können die beschriebenen Hardwaremodule als kommunikativ gekoppelt betrachtet werden. Wenn mehrere Hardwaremodule gleichzeitig vorhanden sind, kann die Kommunikation durch Signalübertragung (z. B. über geeignete Schaltungen und Busse) zwischen oder unter zwei oder mehreren der Hardwaremodule erreicht werden. In Ausführungsformen, in denen mehrere Hardwaremodule zu unterschiedlichen Zeiten ausgestaltet oder instanziiert werden, kann die Kommunikation zwischen solchen Hardwaremodulen erreicht werden, beispielsweise durch Speichern und Abrufen von Informationen in Speicherstrukturen, auf die die mehrfachen Hardwaremodule Zugriff haben. So kann beispielsweise ein Hardwaremodul einen Vorgang durchführen und die Ausgabe dieses Vorgangs in einem Speicher (z. B. einer Speichervorrichtung) speichern, mit dem es kommunikativ gekoppelt ist. Ein weiteres Hardwaremodul kann dann zu einem

späteren Zeitpunkt auf den Speicher zugreifen, um die gespeicherte Ausgabe abzurufen und zu verarbeiten. Hardwaremodule können auch die Kommunikation mit Ein- oder Ausgabegeräten einleiten und auf einer Ressource betrieben werden (z. B. eine Sammlung von Informationen aus einer Computerressource).

[0103] Die hierin beschriebenen exemplarischen verschiedenen Vorgänge können zumindest teilweise von einem oder mehreren Prozessoren ausgeführt werden, die vorübergehend ausgestaltet (z. B. durch Software) oder dauerhaft ausgestaltet sind, um die entsprechenden Vorgänge durchzuführen. Unabhängig davon, ob sie vorübergehend oder dauerhaft ausgestaltet sind, können diese Prozessoren prozessorimplementierte Module darstellen, die eine oder mehrere der hierin beschriebenen Vorgänge oder Funktionen ausführen. Wie hierin verwendet, bezieht sich „prozessorimplementiertes Modul“ auf ein Hardwaremodul, bei dem die Hardware einen oder mehrere Prozessoren beinhaltet. Dementsprechend können die hierin beschriebenen Vorgänge zumindest teilweise prozessorimplementiert, hardwareimplementiert oder beides sein, da ein Prozessor ein Beispiel für Hardware ist, und zumindest einige Vorgänge innerhalb einer oder mehrerer der hierin beschriebenen Vorgänge können von einem oder mehreren prozessorimplementierten Modul/en, hardwareimplementierten Modulen oder einer geeigneten Kombination davon durchgeführt werden.

[0104] Darüber hinaus können dieser eine oder diese mehreren Prozessoren Vorgänge in einer „Cloud Computing-Umgebung“ oder als Service (z. B. innerhalb einer „Software as a Service“-Implementierung (SaaS)) durchführen. So können beispielsweise zumindest einige Vorgänge innerhalb einer oder mehrerer der hierin beschriebenen Vorgänge von einer Gruppe von Computern durchgeführt werden (z. B. als Beispiele für Maschinen, die Prozessoren beinhalten), wobei diese Vorgänge über ein Netzwerk (z. B. das Internet) und über eine oder mehrere geeignete Schnittstellen (z. B. eine Anwendungsprogramm-Schnittstelle (API)) zugänglich sind. Die Leistung bestimmter Vorgänge kann auf einen oder mehrere Prozessoren verteilt werden, unabhängig davon, ob sie sich nur innerhalb einer einzelnen Maschine befinden oder auf mehreren Maschinen eingesetzt werden. In einigen exemplarischen Ausführungsformen können sich der eine oder die mehreren Prozessoren oder Hardwaremodule (z. B. prozessorimplementierte Module) an einem einzigen geografischen Standort befinden (z. B. innerhalb einer Heimumgebung, einer Büroumgebung oder einer Serverfarm). In anderen exemplarischen Ausführungsformen können der eine oder die mehreren Prozessoren oder Hardwaremodule über eine ganze Reihe von geografischen Standorten verteilt sein.

[0105] In dieser Spezifikation können mehrere Instanzen Komponenten, Vorgänge oder Strukturen implementieren, die als eine einzige Instanz beschrieben werden. Obwohl einzelne Vorgänge veranschaulicht und als separat beschrieben werden, kann ein einzelner bzw. können mehrere der einzelnen Vorgänge gleichzeitig ausgeführt werden, und nichts erfordert, dass die Vorgänge in der veranschaulichten Reihenfolge durchgeführt werden. Strukturen und ihre Funktionalität, die als separate Komponenten und Funktionen in exemplarischen Ausgestaltungen dargestellt werden, können als eine kombinierte Struktur oder Komponente mit kombinierten Funktionen implementiert werden. Ebenso können Strukturen und Funktionen, die als eine einzige Komponente dargestellt werden, als separate Komponenten und Funktionen implementiert werden. Diese und andere Abweichungen, Modifikationen, Ergänzungen und Verbesserungen fallen in den Anwendungsbereich des vorliegenden Gegenstands.

[0106] Einige Abschnitte des hierin behandelten Gegenstands können in Form von Algorithmen oder symbolischen Darstellungen von Vorgängen an Daten dargestellt werden, die als Bits oder binäre digitale Signale in einem Speicher (z. B. einem Computerspeicher oder einem anderen Maschinenspeicher) gespeichert sind. Solche Algorithmen oder symbolischen Darstellungen sind Beispiele für Techniken, die von Fachleuten auf dem Gebiet in der Datenverarbeitung verwendet werden, um den wesentlichen Inhalt ihrer Arbeit an andere Fachleute weiterzugeben. Wie hierin verwendet, ist ein „Algorithmus“ eine in sich konsistente Abfolge von Vorgängen oder ähnlichen Verarbeitungen, die zu einem gewünschten Ergebnis führen. In diesem Zusammenhang beinhalten Algorithmen und Vorgänge die physikalische Manipulation physikalischer Größen. Typischerweise, aber nicht notwendigerweise, können diese Größen in Form von elektrischen, magnetischen oder optischen Signalen vorliegen, die gespeichert, abgerufen, übertragen, kombiniert, verglichen oder anderweitig von einer Maschine manipuliert werden können. Es ist manchmal angebracht, vor allem aus Gründen der allgemeinen Verwendung, auf solche Signale mit Wörtern wie „Daten“, „Inhalt“, „Bits“, „Werte“, „Elemente“, „Symbole“, „Zeichen“, „Begriffe“, „Zahlen“, „Ziffern“ oder dergleichen zu verweisen. Diese Worte sind jedoch nur praktische Bezeichnungen und sind mit entsprechenden physikalischen Größen zu verknüpfen.

[0107] Sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, beziehen sich die hierin enthaltenen Erläuterungen mit Begriffen wie „Zugreifen“, „Verarbeiten“, „Erfassen“, „Rechnen“, „Berechnen“, „Bestimmen“, „Erzeugen“, „Präsentieren“, „Anzeigen“ oder dergleichen auf Handlungen oder Prozesse, die von einer Maschine (z. B. einem Computer) ausführbar sind, die Daten, die als physikalische (z. B. elektronische, magne-

tische oder optische) Größen dargestellt werden, innerhalb eines oder mehrerer Speicher (z. B. flüchtiger Speicher, nichtflüchtiger Speicher oder eine geeignete Kombination davon), Register oder anderer Maschinenkomponenten, die Informationen empfangen, speichern, senden oder anzeigen, manipuliert oder transformiert. Sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, werden die Begriffe „ein“ oder „eine“ hierin verwendet, wie es in Patentdokumenten üblich ist, um eine oder mehrere Instanzen einzubeziehen. Schließlich, wie hierin verwendet, bezieht sich die Konjunktion „oder“, sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, auf ein nicht ausschließliches „oder“.

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

- US 2015309473 A1 [0008]
- US 5682214 A [0009]
- GB 2498170 [0049]
- GB 2501112 [0049]

Schutzansprüche

1. Eine Vorrichtung, die zum Aushärten eines Zielmaterials (206) unter Verwendung einer holografischen Projektion geeignet ist, wobei die Vorrichtung geeignet ist, die folgenden geordneten Schritte durchzuführen:

Empfangen von Bilddaten basierend auf einem dreidimensionalen Objekt und Berechnen eines Hologramms in Echtzeit;

Erzeugen eines Lasersteuersignals und eines LCOS-SLM-Steuersignals, wobei das LCOS-SLM-Steuersignal auf dem in Echtzeit berechneten Hologramm basiert;

Erzeugen eines oder mehrerer einfallender Laserstrahlen basierend auf dem Lasersteuersignal mit einer Laserquelle (110);

Modulieren des einen oder der mehreren einfallenden Laserstrahlen basierend auf dem LCOS-SLM-Steuersignal mit einem LCOS-SLM (112);

Erzeugen einer oder mehrerer holografischer Wellenfronten (402, 404) aus den einen oder mehreren modulierten einfallenden Laserstrahlen, wobei jede holografische Wellenfront mindestens einen entsprechenden Brennpunkt bildet, um eine Vielzahl von unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereichen basierend auf den Brennpunkten der einen oder mehreren holografischen Wellenfronten (402, 404) zu erzeugen, wobei die Vielzahl von unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereichen einem Körper des dreidimensionalen Objekts entspricht, der in einem Zielmaterial ausgebildet ist; und

Aushärten eines Abschnitts des Zielmaterials (206) an der Vielzahl von bestimmten fokussierten Lichtfeldbereichen, wobei der Abschnitt des Zielmaterials den Körper des dreidimensionalen Objekts beinhaltet.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner geeignet zum:

Bereitstellen einer Vielzahl von räumlichen Positionen in dem Zielmaterial (206), das an den LCOS-SLM (112) angrenzt, wobei die Vielzahl von räumlichen Positionen dem dreidimensionalen Objekt entspricht;

Erzeugen des LCOS-SLM-Steuersignals und des Lasersteuersignals, um eine Lage der Brennpunkte der modulierten Vielzahl von einfallenden Laserstrahlen so einzustellen, dass sie mit der Vielzahl der räumlichen Lagen übereinstimmt.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, ferner geeignet zum:

Empfangen von Druckdaten, die dem dreidimensionalen Objekt entsprechen;

Bereitstellen von Bereichen innerhalb des Zielmaterials basierend auf den gedruckten Daten;

Bereitstellen einer zweiten Vielzahl von Brennpunkten, die basierend auf den gedruckten Daten den

Bereichen innerhalb des Zielmaterials (206) entsprechen; und

Einstellen des Lasersteuersignals und des LCOS-SLM-Steuersignals basierend auf der zweiten Vielzahl von Brennpunkten, um das Zielmaterial (206) an der zweiten Vielzahl von Brennpunkten auszuhärten.

4. Eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, ferner geeignet zum:

Modulieren mindestens einer Phase oder einer Amplitude der Vielzahl von Laserlichtstrahlen, um die Vielzahl von holografischen Wellenfronten (402, 404) zu erzeugen.

5. Eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, ferner geeignet zum:

Erzeugen eines MEMS-Steuersignals für eine MEMS-Vorrichtung (302), wobei die MEMS-Vorrichtung die Vielzahl von einfallenden Laserstrahlen an einer Vielzahl von Lagen auf dem LCOS-SLM (112) basierend auf dem MEMS-Steuersignal reflektiert, wobei das LCOS-SLM ausgestaltet ist, um die Vielzahl von einfallenden Laserstrahlen an der Vielzahl von Lagen zu empfangen.

6. Eine Vorrichtung, die geeignet ist, die Schritte nach einem der Ansprüche 1 bis 5 auszuführen, wobei die modulierten Laserstrahlen phasenmoduliertes Licht beinhalten.

7. Nichtflüchtiges, computerlesbares Speichermedium, wobei das computerlesbare Speichermedium Anweisungen enthält, die bei der Ausführung durch einen Computer den Computer dazu veranlassen:

Bilddaten basierend auf einem dreidimensionalen Objekt zu empfangen und ein Hologramm in Echtzeit zu berechnen;

ein Lasersteuersignal und ein LCOS-SLM-Steuersignal zu erzeugen, wobei das LCOS-SLM-Steuersignal auf dem in Echtzeit berechneten Hologramm basiert;

einen oder mehrere einfallende(n) Laserstrahl(en) basierend auf dem Lasersteuersignal mit einer Laserquelle (110) zu erzeugen;

einen oder mehrere einfallende(n) Laserstrahl(en) basierend auf dem LCOS-SLM-Steuersignal mit einem LCOS-SLM zu modulieren;

eine oder mehrere holografische Wellenfronten (402, 404) aus dem einen oder den mehreren modulierten einfallenden Laserstrahl(en) zu erzeugen, wobei jede holografische Wellenfront mindestens einen entsprechenden Brennpunkt bildet, um eine Vielzahl von unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereichen basierend auf den Brennpunkten der einen oder mehreren holografischen Wellenfronten (402, 404) zu erzeugen, wobei die Vielzahl von unterschiedlichen fokussierten Lichtfeldbereichen einem Körper des dreidimensionalen Objekts entspricht, der in einem Zielmaterial ausgebildet ist; und

einen Abschnitt des Zielmaterials (206) an der Vielzahl von bestimmten fokussierten Lichtfeldbereichen auszuhärten, wobei der Abschnitt des Zielmaterials den Körper des dreidimensionalen Objekts beinhaltet.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

100

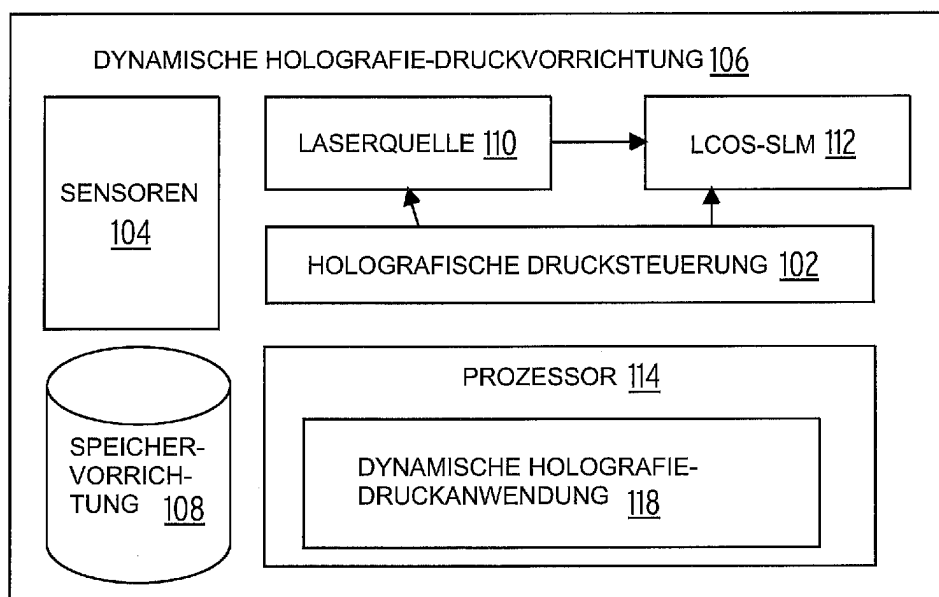


FIG. 1

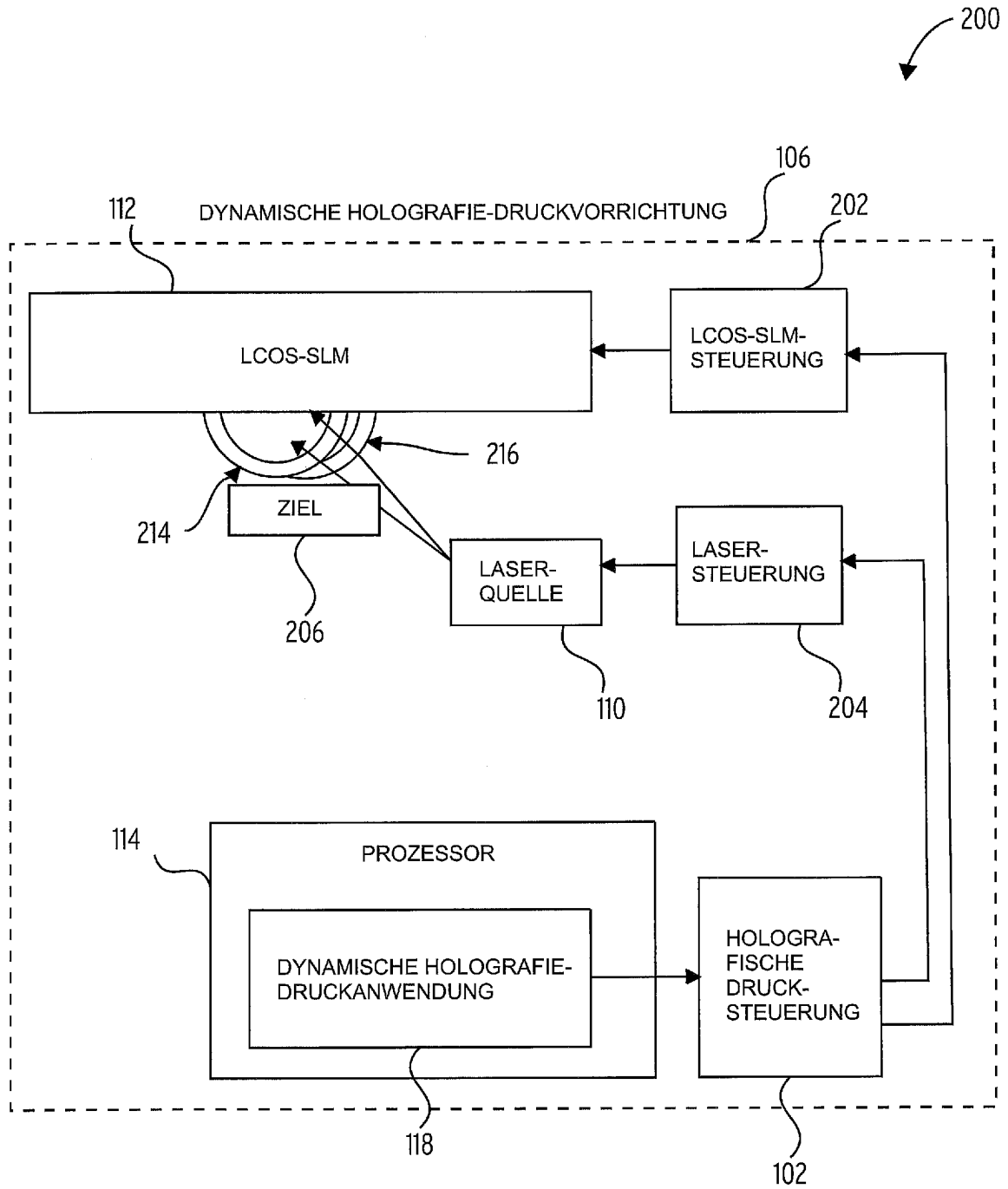


FIG. 2

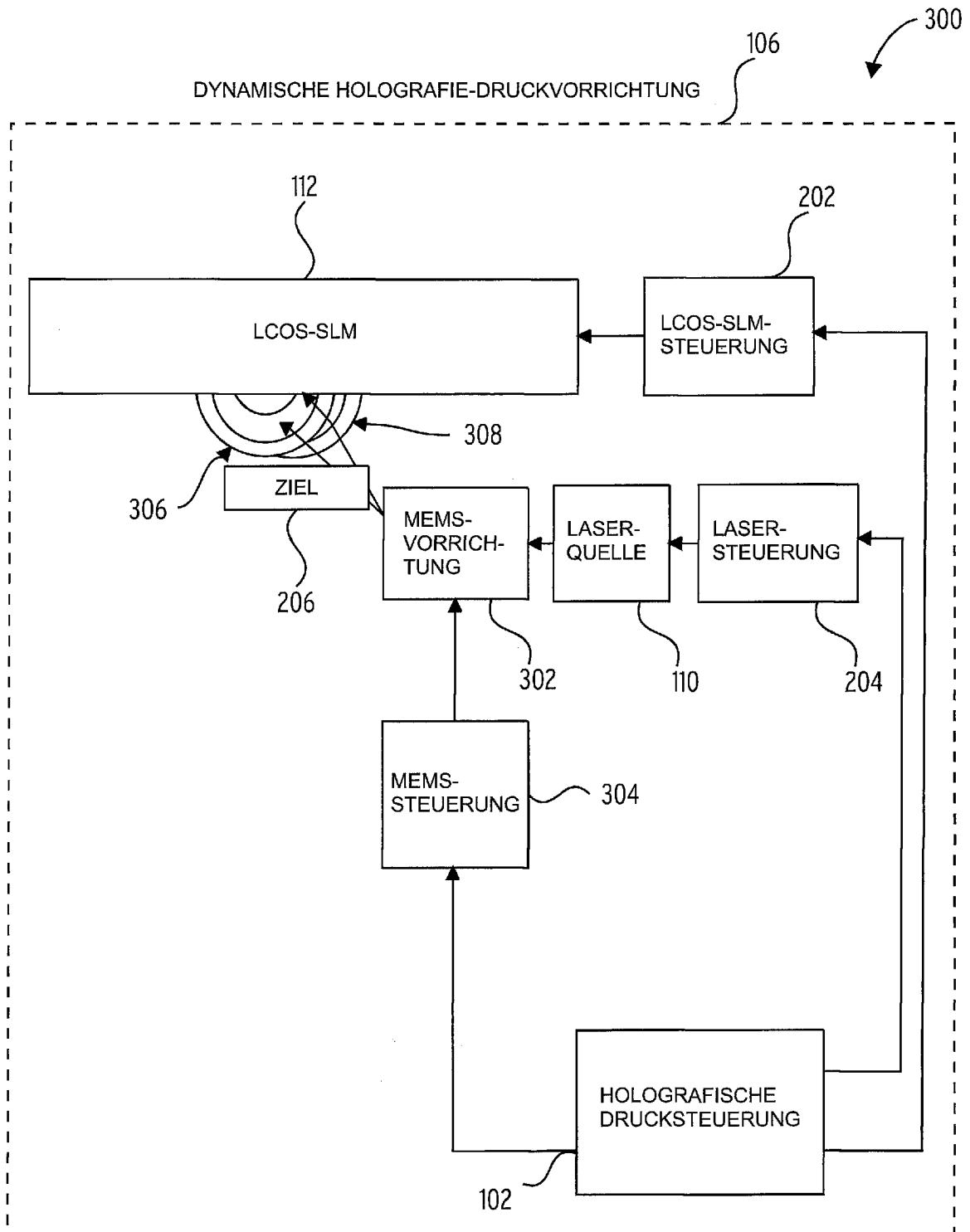


FIG. 3

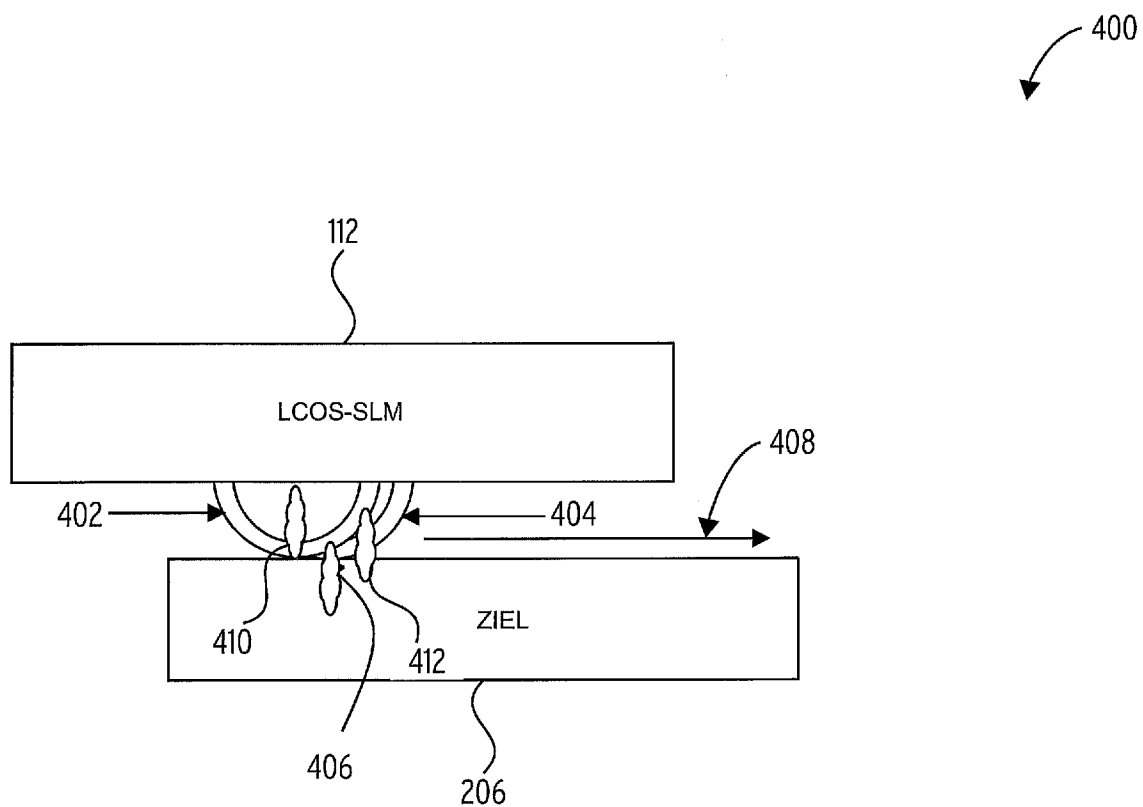


FIG. 4

500

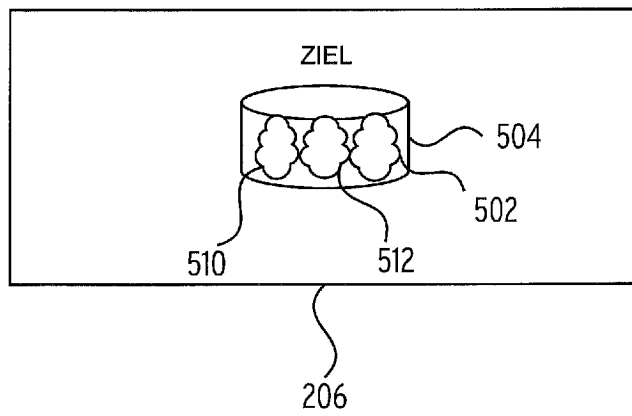


FIG. 5

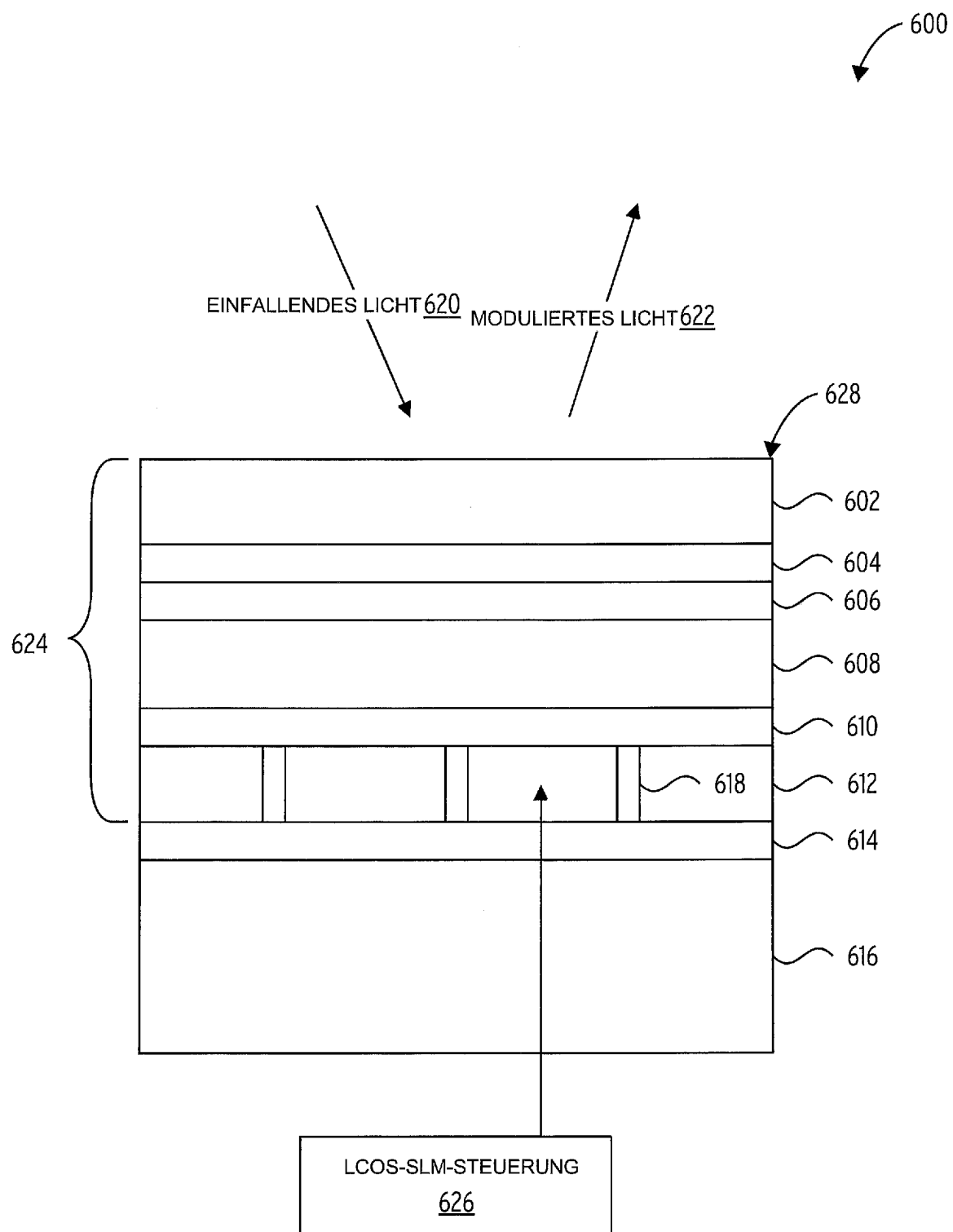


FIG. 6

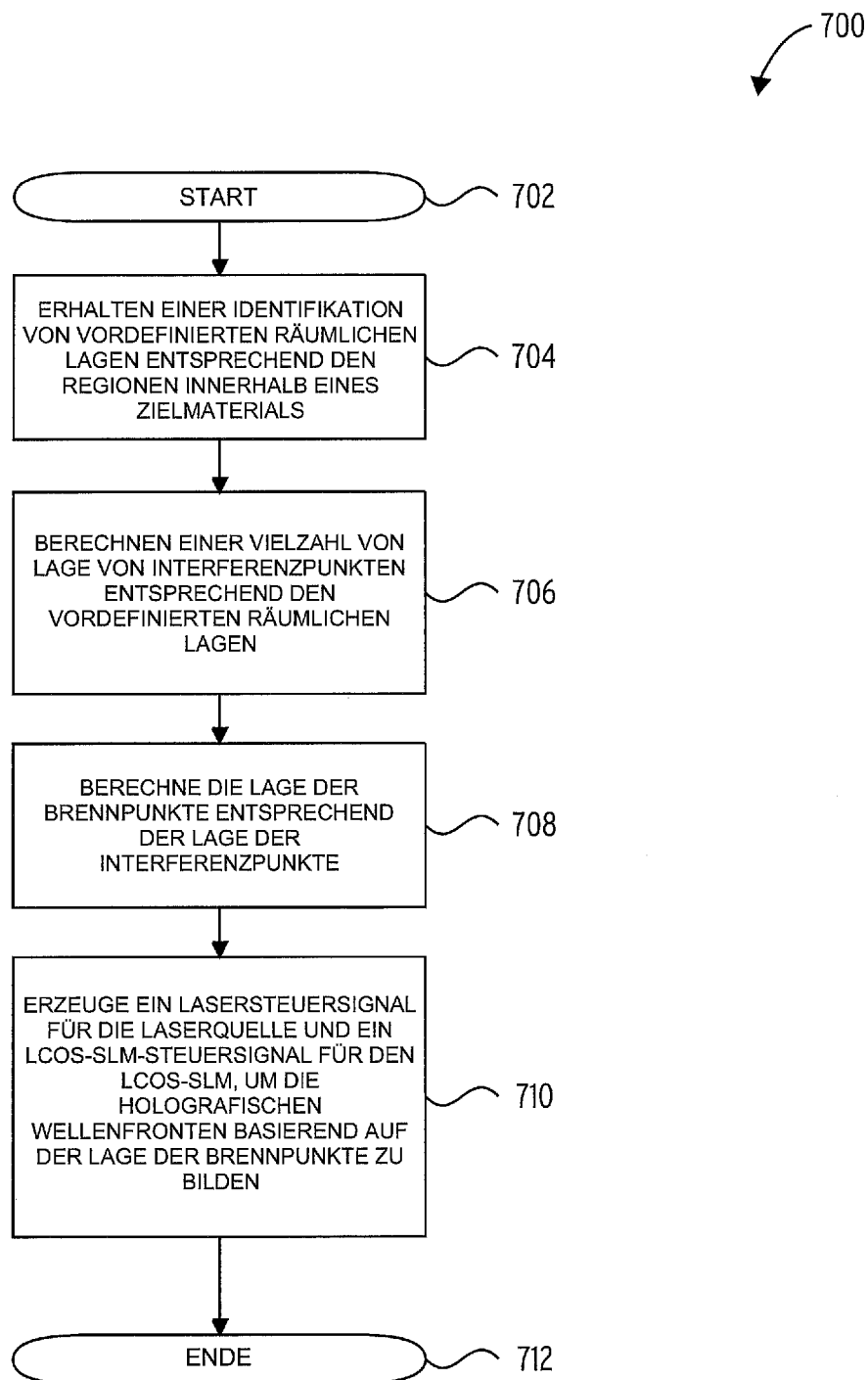


FIG. 7

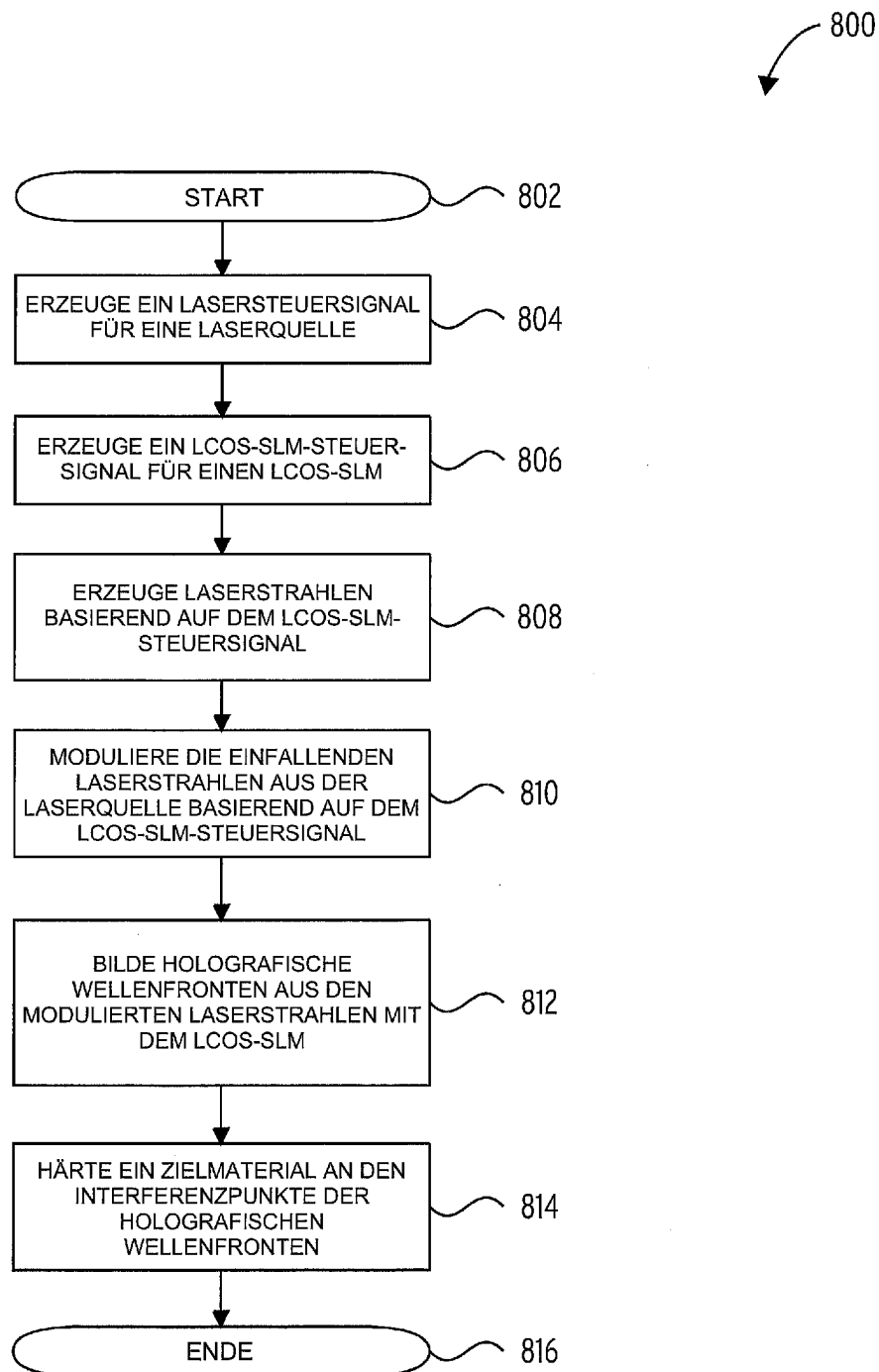


FIG. 8

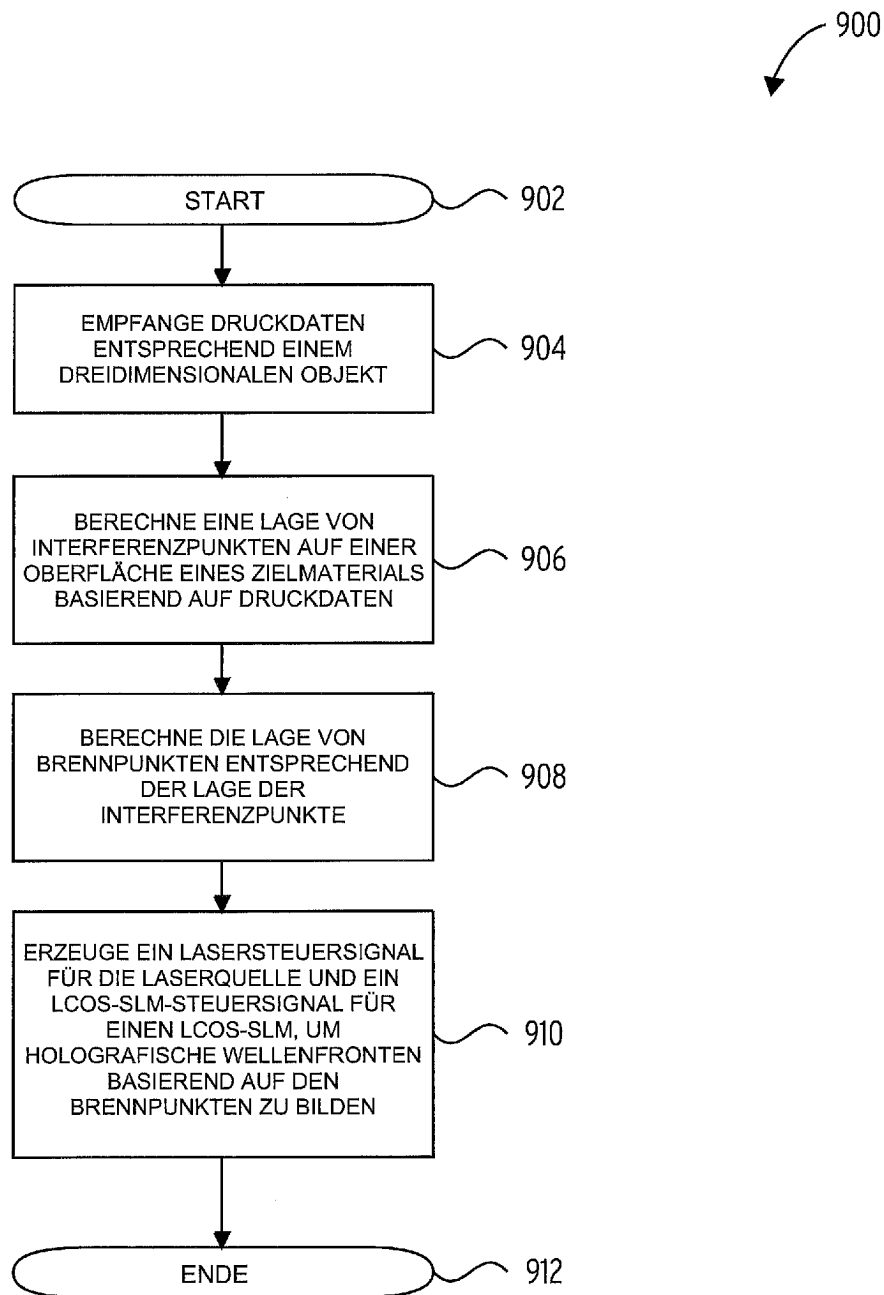


FIG. 9

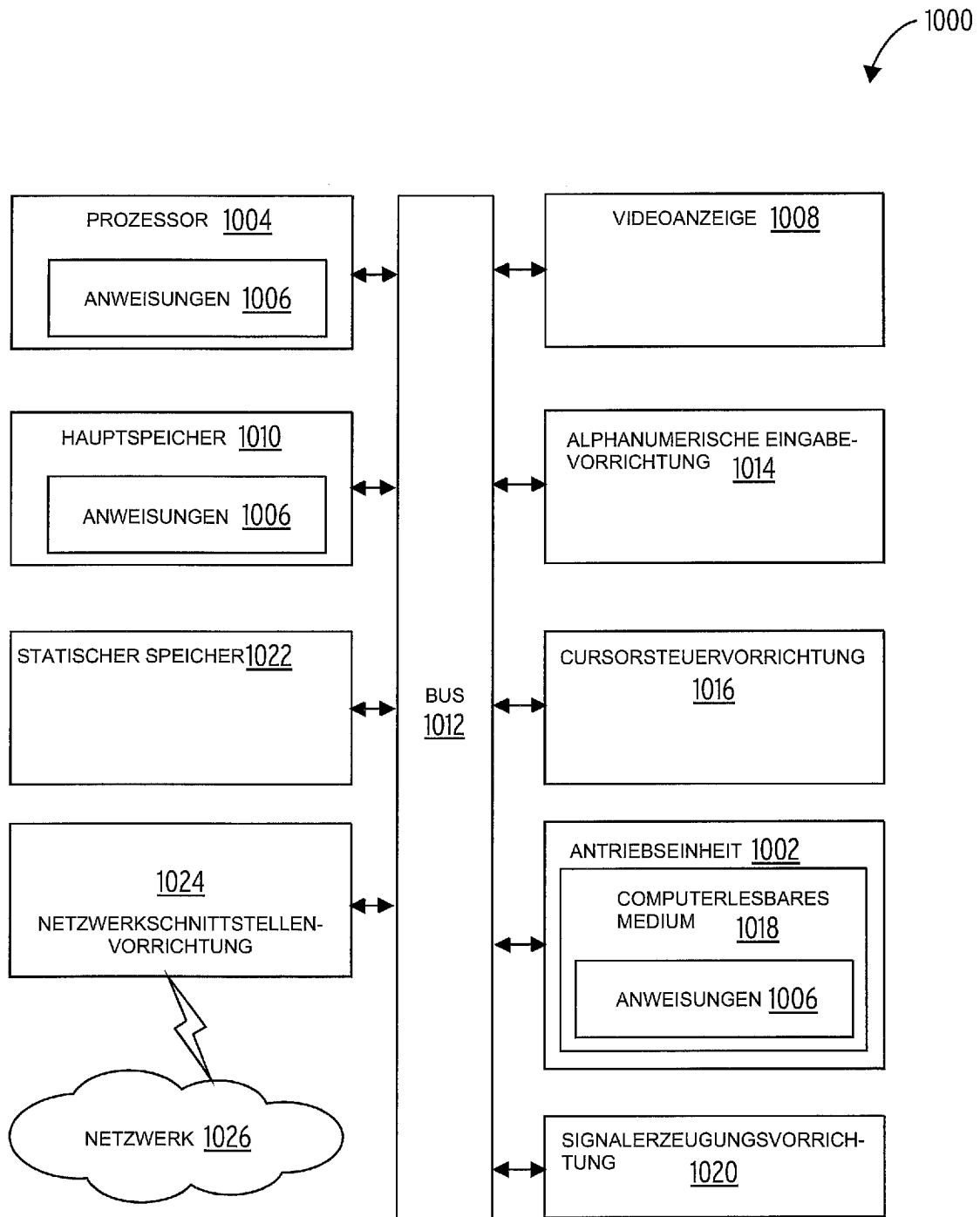


FIG. 10