



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 119 989.4**

(22) Anmeldetag: **09.08.2022**

(43) Offenlegungstag: **15.02.2024**

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

(71) Anmelder:

**Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE**

(74) Vertreter:

**HERTIN & Partner Rechts- und Patentanwälte  
PartG mbB, 10707 Berlin, DE**

(72) Erfinder:

**Giehl, Markus, 07745 Jena, DE; Riethmüller, Mirko,  
07745 Jena, DE; Maret, Isabelle, 07745 Jena, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

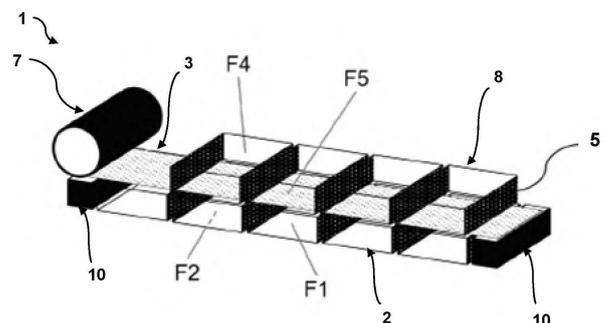
<b>DE</b>	<b>10 2010 014 305</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2019 110 833</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2007 / 0 024 939</b>	<b>A1</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG FÜR DIE REPLIKATION EINER MEHRZAHL VON HOLOGRAMMEN MITTELS  
EINES SETZKASTENPRINZIP**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung für die Replikation einer Mehrzahl von Hologrammen. Die Vorrichtung umfasst ein erstes Trägermittel für eine Anordnung einer Sequenz von Masterelementen aus einer Vielzahl von Masterelementen in Abhängigkeit einer zu replizierenden Mehrzahl von Hologrammen, so dass obere Flächen der Masterelemente in einer horizontalen Ebene ausgerichtet vorliegen und ein Laminierungsmodul für eine lösbare Laminierung einer lichtempfindlichen Verbundbahn auf die ausgerichteten oberen Fläche der Masterelemente. Ferner umfasst die Vorrichtung ein Belichtungsmodul für die Belichtung der Masterelemente, um die Masterhologramme in die lichtempfindliche Verbundbahn zu replizieren, und ein Ablösungsmodul für das Ablösen der belichteten Verbundbahn von den Masterelementen. Die Masterelemente liegen in dem ersten Trägermittel lösbar eingebracht vor, sodass eine Sequenz und/oder Zusammensetzung der Masterelemente für die Replikation der Mehrzahl von Hologrammen variierbar ist. Zudem liegen die Masterelemente in dem ersten Trägermittel derart eingebracht vor, dass zwei oder mehr Flächen der Masterelemente zum Zwecke der Belichtung optisch zugänglich sind.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung für die Replikation einer Mehrzahl von Hologrammen. Die Vorrichtung umfasst ein erstes Trägermittel für eine Anordnung einer Sequenz von Masterelementen aus einer Vielzahl von Masterelementen in Abhängigkeit einer zu replizierenden Mehrzahl von Hologrammen, so dass obere Flächen der Masterelemente in einer horizontalen Ebene ausgerichtet vorliegen und ein Laminierungsmodul für eine lösbare Laminierung einer lichtempfindlichen Verbundbahn auf die ausgerichteten oberen Fläche der Masterelemente. Ferner umfasst die Vorrichtung ein Belichtungsmodul für die Belichtung der Masterelemente, um die Masterhologramme in die lichtempfindliche Verbundbahn zu replizieren, und ein Ablösungsmodul für das Ablösen der belichteten Verbundbahn von den Masterelementen. Die Masterelemente liegen in dem ersten Trägermittel lösbar eingebracht vor, sodass eine Sequenz und/oder Zusammensetzung der Masterelemente für die Replikation der Mehrzahl von Hologrammen variierbar ist. Zudem liegen die Masterelemente in dem ersten Trägermittel derart eingebracht vor, dass zwei oder mehr Flächen der Masterelemente zum Zwecke der Belichtung optisch zugänglich sind.

### Hintergrund und Stand der Technik

**[0002]** Die Erfindung betrifft das Gebiet der Replikation von Hologrammen.

**[0003]** HOEs (Holographic Optical Elements) bezeichnen typischerweise optische Bauelemente, bei denen holografische Eigenschaften dazu verwendet werden, einen bestimmten Strahlengang des Lichts, wie z.B. Transmission, Reflexion, Beugung, Streuung und/oder Ablenkung etc. zu erreichen. Dadurch können gewünschte optische Funktionalitäten in kompakter Weise in beliebigen Substraten implementiert werden. Die holografischen Eigenschaften nutzen vorzugsweise den Wellencharakter des Lichts aus, insbesondere Kohärenz- und Interferenzeffekte. Dabei wird sowohl die Intensität als auch die Phase des Lichts berücksichtigt.

**[0004]** Solche holografischen Elemente finden in vielen Bereichen Anwendung, wie z. B. in transparenten Displays (z.B. in Schaufenstern, Kühlmöbeln, Fahrzeugscheiben), für Beleuchtungsanwendungen, wie Hinweis- oder Warnsignale in Glasflächen, lichtempfindliche Detektionssystemen beispielsweise zur Innenraumüberwachung (Eyetracking in Fahrzeugen oder Anwesenheitsstatus-Tracking von Personen in Innenräumen). Viele HOEs haben große Abmessungen, die zum Beispiel eine ganze Windschutzscheibe abdecken. Andererseits können HOEs auch kleinere Abmessungen haben, zum Beispiel

für die Verwendung in Banknoten und Sicherheitssiegeln.

**[0005]** Hologramme werden durch die Interferenz eines Referenzstrahls mit dem von der Oberfläche eines Objekts reflektierten Licht (Objektstrahlen) erzeugt. Traditionell wurden dreidimensionale Objekte verwendet, um einzigartige, maßgeschneiderte Hologramme herzustellen. Heutzutage ist es möglich, solche Hologramme mit rein computergenerierten Methoden zu erzeugen, bei denen ein holografisches Interferenzmuster digital berechnet und durch computergesteuerte kohärente Lichtquellen auf ein lichtempfindliches Material „gedruckt“ wird. Dies ermöglicht die Herstellung von Hologrammen aus einem computergenerierten Bild und gilt als besonders geeignet für die Herstellung von einmaligen Versionen von Hologrammen, kundenspezifischen Hologrammen oder für die Herstellung von Masterhologrammen, die später vervielfältigt werden. Ein beispielhaftes Verfahren dieser Art ist als „Laser Scanning Holographie Lithography“ bekannt. Dieses Verfahren erfordert die Verwendung sehr feiner Laserstrahlen mit einer Strahlbreite im Mikrometerbereich. Das Verfahren ist aus dem Grunde zeit- und kostenintensiv, sodass vor allem bei sehr großen Masterhologrammen der Einsatz unwirtschaftlich wird.

**[0006]** Kommerziell erhältliche HOEs werden hingegen oft durch Vervielfältigungsverfahren in Massenproduktion hergestellt. Derartige Vervielfältigungsverfahren verwenden in der Regel ein Masterhologramm, welche das zu kopierende Bild aufweist. Das Masterhologramm hat oftmals ähnlich große Abmessungen wie das HOE. Die Materialien für das Masterhologramm sind häufig teurer als die replizierten HOEs, da die Masterhologramme typischerweise aus einem haltbareren Metall bestehen oder in ein transparentes Substrat von hoher Rigidität und Oberflächenqualität als ein Masterelement eingebettet sind. Auch die Herstellung von Masterhologrammen ist aufgrund der Verwendung benutzerdefinierter Verfahren kostenintensiv, unabhängig davon, ob es sich um traditionelle oder computergenerierte Verfahren handelt.

**[0007]** Masterhologramme werden häufig in einem Substratkörper gespeichert, der das Masterhologramm trägt. Vorzugsweise ist der Substratkörper transparent. Der Substratkörper hat vorzugsweise mehrere Flächen, darunter eine obere oder untere Fläche, die horizontal ausgerichtet sein kann. Die Kombination des Masterhologramms mit dem Substratkörper bildet ein Masterelement. Die Größe des Masterelements beträgt in der Regel ein Vielfaches der Größe des Masterhologramms. Das hohe Gewicht von Masterelementen wird durch die für den Substratkörper verwendeten harten, transparenten Materialien wie Glas verursacht.

**[0008]** Die kontinuierliche Vervielfältigung eines einzigen Masterhologramms zur Herstellung einer Reihe von identischen Kopien solcher HOEs ist bekannt. In der Regel erfolgt dieser Prozess durch ein Prägeverfahren in ein lichtempfindliches Material zur Herstellung von Reflexionshologrammen. Die Vervielfältigung kann auch durch eine optische Belichtung erfolgen, um ein Volumenhologramm zu erzeugen. In diesen Fällen wird ein lichtempfindliches Material in optischen Kontakt mit einem Masterelement gebracht und mit kohärentem Licht belichtet. Um eine kontinuierliche Verarbeitung zu ermöglichen und die Geschwindigkeit des Verfahrens zu erhöhen, kann das lichtempfindliche Material in Form einer Bahn bereitgestellt und durch Rollen durch verschiedene Arbeitsstationen transportiert werden, um die HOEs herzustellen. Solche Bahnen sind häufig ausschließlich in Standard-Breiten erhältlich, welche zum Beispiel an die Breite von Rollen in den Arbeitsstationen angepasst sind.

**[0009]** Insbesondere bei kleinen HOEs (Breite oder Länge <150 mm) kann ihre Replikation auf einer solchen Bahn mit einem einzigen Masterelement häufig nicht prozess- bzw. materialeffizient durchgeführt werden. Vor allem in Fällen, in denen die Breite der Bahn die Breite des HOEs um ein Vielfaches übersteigt, muss ein großer Teil der lichtempfindlichen Bahn in späteren Arbeitsschritten weggeschnitten und entsorgt werden. Dies führt zu Materialabfall, höheren Kosten und schränkt zudem die Geschwindigkeit sowie Effizienz des Kopiervorgangs ein.

**[0010]** Eine Alternative kann die Verwendung mehrerer Masterhologramme sein, um die HOEs nebeneinander über die Breite der Bahn zu produzieren. Dies verbessert zwar die Materialausnutzung, führt aber zu Herausforderungen für die Platzierung der Masterhologramme. Insbesondere können Unebenheiten zwischen den Masterhologrammen zu einem schlechten optischen Kontakt zwischen der Bahn und den Masterhologrammen führen, so dass unerwünschte Reflexionen an den Grenzflächen auftreten. Eine mögliche Lösung für dieses Problem besteht darin, verschiedene Masterhologramme in ein einziges, großflächiges Masterelement zu integrieren. Ein großflächiges Masterelement kann eine perfekt ebene und durchgehende Oberfläche bieten, um den erforderlichen optischen Kontakt mit der Bahn herzustellen.

**[0011]** Die Herstellung großer Masterelemente mit einer Vielzahl von Masterhologrammen ist jedoch teuer, u.a. weil die Herstellung großflächiger optisch fehlerfrei polierter Substrate nicht trivial ist. Außerdem sind solche Masterelemente aufgrund ihres Gewichts schwerer zu bewegen, was ein Einbringen und Entfernen solch großer Masterelemente in eine Produktionslinie erschwert. Zudem sind die Lagerung und logistische Vorhaltung einer großen Anzahl

schwerer und kostenintensiver Masterelemente wenig praktikabel.

**[0012]** Zudem kann es bei einer platzeffizienten Positionierung von Masterhologrammen zu unerwünschten optischen Störungen in dem erzeugten HOE kommen. Zum Beispiel können Referenzstrahlen, die zur Belichtung eines Masterhologramms verwendet werden, sich ausbreiten oder gestreut werden und ein benachbartes Hologramm erreichen, was dazu führt, dass auch dieses versehentlich belichtet wird. Um dies zu vermeiden sind hohe Pufferabstände zwischen den Masterhologrammen erforderlich, was sich nachteilig auf eine materialeffiziente Nutzung der Masterelemente wie auch der lichtempfindlichen Bahn auswirkt.

**[0013]** Auf einem Masterelement können identische Masterhologramme vorliegen, um wie obig erläutert eine effizientere Ausnutzung einer lichtempfindlichen Bahn zu schaffen. In einem solchen Fall kann ein und derselbe Scanlaser alle Masterhologramme aus demselben Winkel belichten.

**[0014]** Es kann aber auch bevorzugt sein, dass Masterhologramme verschiedener Motive gleichzeitig repliziert werden sollen. Zum einen kann dies bevorzugt sein, um gleichzeitig eine Replikationsanlage für verschiedene Anwendungen zu nutzen. Auch kann es notwendig sein, für die Bereitstellung eines großflächigen HOEs eine Vielzahl von HOEs verschiedener Art zu replizieren, welche anschließend zu einem großflächigen HOE zusammengefügt werden.

**[0015]** Die verschiedenen zu replizierenden Hologramme können sich hierbei nicht nur aufgrund der Motive, die sie enthalten, sondern auch aufgrund ihres Typs voneinander unterscheiden. So sind beispielsweise Transmissions- und Reflexionshologramme bekannt, die ihrerseits in Kategorien wie edge-lit, back-lit usw. unterteilt sind. Hologramme für verschiedene Zwecke müssen auf unterschiedliche Weise und aus unterschiedlichen Winkeln belichtet werden, zum Beispiel, um der Position einer Lichtquelle zu entsprechen, mit der das Hologramm rekonstruiert werden soll. Um den Aufwand reduzieren, wäre es auch von Vorteil, wenn verschiedene Arten von Masterhologrammen mit verschiedenen Motiven sowie auch verschiedenen Belichtungsmethoden in einer einzigen Vorrichtung auf einer Bahn belichtet werden können.

**[0016]** Für den Fall, dass dasselbe Masterelement eine Vielzahl von Masterhologrammen verschiedener Motive und Typen umfasst, ist ein einfaches Laserscanning über das gesamte Masterelement nicht geeignet. Die Ausgestaltung eines optischen Aufbaus, um verschiedene Masterhologramme desselben Masterelementes aus verschiedenen Winkeln

zu belichten, ohne dass Bereiche fehlerhaft belichtet werden, ist komplex. Zudem müssen in diesem Fall die Masterhologramme im Masterelement besonders weit voneinander getrennt werden, um eine unerwünschte Überlagerung von Lichtstrahlen zu vermeiden.

**[0017]** Ein weiteres Problem ergibt sich, sofern sich eines oder mehrere Masterhologramme im Masterelement als fehlerhaft erweist, degradiert ist oder verändert werden sollte. Da die Masterhologramme fest mit dem Substratkörper verbunden sind, können sie nicht einzeln ausgetauscht werden, ohne das gesamte Masterelement zu ersetzen.

**[0018]** Insbesondere wenn Änderungen nur in einem Teilbereich eines größeren Masterhologramms erforderlich sind, führt dies zu einem großen Verlust an Material und erhöhten Herstellungskosten. Insofern häufig Änderungen auftreten und nur kleine Serien produziert werden, wird das Verfahren unpraktikabel. Eine Alternative besteht darin, jedes Hologramm mit einer computergesteuerten Lithografiertechnik herzustellen. Wie oben erläutert, ist dies jedoch für die meisten kommerziellen Anwendungen unwirtschaftlich.

**[0019]** Es besteht daher ein Bedarf, eine Vorrichtung bereitzustellen, welche ein effizienteres Verfahren zur Vervielfältigung von Hologrammen ermöglicht. Die Vorrichtung erlaubt vorzugsweise Änderungen auf einfache Weise durchzuführen und eignet sich insbesondere zur flexibleren, materialsparenden Replikation von Hologrammen in kleinen und großen Dimensionen. Weiterhin wäre es wünschenswert, einfache Möglichkeiten zu schaffen, Masterhologramme zwischen kurzen Serien zu variieren, wobei die Masterhologramme leicht speicher- und austauschbar sind.

**[0020]** Für viele Anwendungen, z. B. für die Herstellung von personalisierten Sicherheitsmerkmalen (beispielsweise eines holografischen Geburtsdatums, eines holografischen Ausstellungsdatum, einer holografischen Seriennummer oder ähnliches), sind die bekannten Methoden der Serienvervielfältigung nicht ohne Weiteres geeignet. Dies liegt daran, dass das herzustellende Hologramm entweder einzigartig sein oder eine einzigartige Kombination von Merkmalen wie Zahlen, Symbolen und Bilder enthalten kann. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, dass es sich bei diesen Hologrammen um verschiedene Typen mit unterschiedlichen Belichtungsanforderungen handelt. Beispielsweise können zur Verwendung in Brillen mit einer bestimmten Tönung oder Stärke, Transmissionshologramme notwendig sein (vgl. WO2016202595A1). Ebenso kann es erforderlich sein, dass die Hologramme Reflexionshologramme sind, zum Beispiel für die Verwendung in einem Display. Die Hologramme müssen möglicher-

weise eine bestimmte Farbe haben oder nur aus einem bestimmten Winkel sichtbar sein.

**[0021]** Aus der US2007024939A1 ist ein Verfahren bekannt, das die Flexibilität eines Einsatzes von Masterhologrammen in einer Produktionsserie erhöht. Das Verfahren umfasst die In-Kontakt-Bringung einer lichtempfindlichen Bahn mit einer Matrix von kleinen getrennten Masterelementen. Die Masterelemente selbst umfassen veränderbare Merkmale wie z. B. einen Zähler und sind in einem Gerüst so angeordnet, dass nur ihre Oberseite für die Belichtung zugänglich ist. Die Anordnung ermöglicht somit die Belichtung nur von einer Seite, um ausschließlich Reflexionshologramme zu erzeugen.

**[0022]** Des Weiteren bietet die aus US2007024939A1 bekannte Anordnung keine präzise Führung des Belichtungslichts zu den Masterelementen oder der lichtempfindlichen Bahn. Die Winkel, aus denen das durch die lichtempfindliche Bahn einfallende Licht die Masterelemente erreichen kann, sind begrenzt, da das Licht nur auf die obere Seite der Masterelemente fallen kann. Daher müssen alle Masterelemente im Wesentlichen durch dieselbe Technik belichtet werden. Das heißt, obwohl in einem Produktionslauf verschiedene Masterhologramme kopiert werden können, müssen sie alle auf die gleiche Weise kopiert werden, um ausschließlich Reflexionshologramme zu bilden.

**[0023]** Außerdem ist nicht vorgesehen, dass benachbarte Kopien vor Störungen durch Licht geschützt werden, das von benachbarten Masterhologrammen reflektiert wird. Die Belichtung der Masterhologramme von oben wird als einzige Möglichkeit offenbart, verschiedene Hologramme in der lichtempfindlichen Bahn zu erzeugen, ohne dass es zu unerwünschten Überlagerungen zwischen den verschiedenen Bildern kommt. Bei der Belichtung, wie sie in diesem Dokument beschrieben wird, muss der Referenzstrahl verschiedene Komponenten mit unterschiedlichen optischen Indizes durchqueren, durch die er unterschiedlich gebrochen wird. Zwischen Schichten mit unterschiedlichem optischen Index - zum Beispiel zwischen den Masterelementen, der lichtempfindlichen Bahn und der umgebenden Luft - treten Grenzflächen auf, an denen ein hohes Risiko für Reflexionen besteht. Hierdurch können unerwünschte Belichtungsmuster auftreten.

**[0024]** Im Lichte des bekannten Standes der Technik besteht mithin ein Bedarf an einer Vorrichtung, die nicht nur die Vervielfältigung verschiedener Masterelemente mit unterschiedlichen Masterhologrammen in einer einzigen Serie ermöglicht, sondern zudem vorzugsweise eine kontrollierte Belichtung jedes Masterelements aus einer bestimmten Richtung oder mit einer bestimmten Wellenlänge ermöglicht, so dass auch verschiedene Belichtungsmetho-

den in einer einzigen Serie durchgeführt werden können.

#### Aufgabe der Erfindung

**[0025]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung für die Replikation einer Mehrzahl von Hologrammen, ohne die Nachteile des Standes der Technik bereitzustellen. Insbesondere war es eine Aufgabe der Erfindung eine Vorrichtung bereitzustellen, welche sich für materialsparenden Replikation von Hologrammen mit hoher Präzision und Qualität eignet, wobei vorzugsweise auch unterschiedliche Hologramme mit unterschiedlichen Belichtungsanforderungen repliziert werden können.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0026]** Gelöst wird die Aufgabe durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

**[0027]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung für die Replikation einer Mehrzahl von Hologrammen umfassend

- ein erstes Trägermittel für eine Anordnung einer Sequenz von Masterelementen aus einer Vielzahl von Masterelementen in Abhängigkeit einer zu replizierenden Mehrzahl von Hologrammen, so dass obere Flächen der Masterelemente in einer horizontalen Ebene ausgerichtet vorliegen,
- ein Laminierungsmodul für eine lösbare Laminierung einer lichtempfindlichen Verbundbahn auf die ausgerichteten oberen Flächen der Masterelementen, und
- ein Belichtungsmodul für die Belichtung der Masterelemente, um die Masterhologramme in die lichtempfindliche Verbundbahn zu replizieren, und
- ein Ablösungsmodul für das Ablösen der belichteten Verbundbahn von den Masterelementen

wobei die Masterelemente in dem ersten Trägermittel lösbar eingebracht vorliegen, sodass eine Sequenz und/oder Zusammensetzung der Masterelemente für die Replikation der Mehrzahl von Hologrammen variierbar ist und wobei die Masterelemente in dem ersten Trägermittel ferner derart eingebracht vorliegen, dass zwei oder mehr Flächen der Masterelemente zum Zwecke der Belichtung optisch zugänglich sind.

**[0028]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung hat den Vorteil, dass mehrere Masterhologramme in einer einzigen Serie belichtet werden können und gleich-

zeitig eine große Flexibilität in der Belichtungsmethode gegeben ist. Durch die Bereitstellung einer Vielzahl von Masterelementen und deren linearen Anordnung kann die Größe und das Gewicht jedes Masterelement verringert werden. Ein großes Hologramm kann hierdurch aus mehreren kleineren Motiven gebildet werden. Diese können Teil eines größeren Bildes sein oder als eigenständige Komponente auftreten. Zusätzlich oder alternativ können die Masterelemente einzelne Hologramme darstellen, die nach dem Kopieren getrennt werden sollen.

**[0029]** Durch die Verwendung mehrerer kleineren Masterelemente zur Abdeckung einer Fläche, die normalerweise von einem einzigen großen Masterelement abgedeckt wird, kann die Komplexität eines Systems verringert werden. Geringfügige Änderungen oder Defekte an einem Masterelement erfordern nicht den Austausch aller Masterelemente. Dies senkt die Kosten enorm. So können beispielsweise die transparenten Substrate, die zur Unterbringung der Masterhologramme verwendet werden, einfacher vorbereitet und poliert werden. Auch der Transport und die Lagerung kleinerer und leichter Masterelemente ist wirtschaftlicher, da diese platzsparend gestapelt, ohne spezielle Hebevorrichtungen transportiert und auf einfache Weise in die Vorrichtung eingesetzt oder entnommen werden können.

**[0030]** Weiterhin erlaubt die erfindungsgemäße Vorrichtung eine optimale Materialausnutzung der lichtempfindlichen Verbundbahn. Vorzugsweise kann sich das Trägermittel über die gesamte Breite der Verbundbahn erstrecken, sodass die Masterhologramme in Bereiche der Verbundbahn über deren gesamte Breite repliziert werden können. Die Bereitstellung eines ersten Trägermittels erlaubt hierbei vorteilhaft zudem die einzelnen Masterelemente zur Vermeidung von Streulicht beim Belichtungsvorgang voneinander optisch zu trennen. Dies ermöglicht die Platzierung separater Masterelemente in der Vorrichtung, um eine deutlich dichtere Positionierung von Replikationshologrammen in der Verbundbahn zu ermöglichen, ohne dass die Präzision oder Qualität der Replikation leidet.

**[0031]** Darüber hinaus kann durch die Bereitstellung einer Vielzahl solcher Masterelemente ein Pool von verschiedenen Bausteinen bereitgestellt werden. Durch die Auswahl von Masterelementen aus einer solchen Vielzahl kann ein diverses Spektrum von verschiedenen Kombinationen von Bausteinen auf einem einzigen lichtempfindlichen Material reproduziert werden. Dies bietet eine enorme Flexibilität bei der Kombination von Bausteinen, um eine große Vielfalt von Bildern, Mustern oder Texten zu erzeugen, wobei die Kosten im Vergleich zur digital gesteuerten Einzelholografie dramatisch gesenkt werden.

**[0032]** Durch die Auswahl der Masterelemente aus der Vielzahl der Masterelemente nach einer Sequenz können individuelle Hologramme genau in der vom Endverbraucher gewünschten Anzahl und Reihenfolge hergestellt werden. Dies ist besonders nützlich in Industrien, die eine sequenzielle Teillieferung (SPD) oder eine Just-in-Sequence-Liefermethode (JIS) von Teilen verwenden, und ermöglicht vorteilhafterweise die Integration der erfindungsgemäßen Vorrichtung in solchen Fabriken. Zum Beispiel in der Automobilindustrie, die mehr in Richtung Individualisierbarkeit tendiert und mehr HOEs in ihre Konstruktion integriert, können die replizierten Hologramme in einer Sequenz geliefert werden, die mit der der Automobilproduktionssequenz harmoniert. So können logistische Zwischenschritte entfallen, was die Effizienz erhöht. Da nur die exakt benötigte Stückzahl produziert wird, fällt darüber hinaus weniger Abfall an. Die Vorrichtung eignet sich auch für Hochsicherheitsanwendungen wie Banknoten und Ausweisdokumente.

**[0033]** Weiterhin ermöglicht es das erste Trägermittel vorteilhaft, die einzelnen Masterelemente in der Vorrichtung so zu platzieren, dass sie in festen, bekannten Abständen zueinanderstehen. Dies gewährleistet eine sehr hohe Präzision bei der Platzierung, die eine präzise und lineare Trennung der replizierten Hologramme erlaubt. Das erste Trägermittel ermöglicht es auch, die Masterelemente so präzise zu platzieren, dass ihre Oberflächen untereinander und mit dem Trägermittel bündig sind. So kann die Vielzahl der Masterelemente auch bei dünnen, flexiblen, lichtempfindlichen Materialien verwendet werden, ohne diese zu beschädigen. Dies stellt insofern eine Abkehr von vorherigen Ansichten dar, wonach die Verwendung mehrerer nebeneinander angeordneten Masterelemente in einem einzigen Durchgang dazu führen würde, dass sich Kanten oder Vorsprünge an einer fließenden Verbundbahn aus lichtempfindlichem Material zu Verschleiß oder Schädigungen führen.

**[0034]** Aufgrund der ausgerichteten horizontalen Oberfläche, die durch die Kombination der Masterelemente mit dem Trägermittel entsteht, kann stattdessen lichtempfindliches Material mit hoher Präzision und bei nur geringen Scherkräften auf die Masterelemente laminiert werden.

**[0035]** Das Laminierungsmodul bringt vorzugsweise das lichtempfindliche Material in mechanischen Kontakt mit den Masterelementen und sorgt für einen hinreichenden optischen Kontakt zu den Masterhologrammen. Durch Laminieren statt einem einfachen Auflegen des lichtempfindlichen Materials auf die Masterelemente kann ein besonders homogener Kontakt zwischen Masterelement und lichtempfindlichem Material hergestellt werden, welcher Blasen oder Falten effektiv vermeidet. Durch die Verwen-

dung einer Verbundbahn aus dem lichtempfindlichen Material kann dies wiederholt über die Anordnung der Masterelemente auf effiziente Weise erfolgen, so dass die Verbundbahn fließt, während die Anordnung der Masterelemente vorzugsweise ortsfest bleibt. Insbesondere eine lösbare Laminierung ermöglicht es, die Verbundbahn ohne Beschädigung oder Rückstände zu entnehmen und über weitere Stationen in einer Produktionslinie weiterlaufen zu lassen. Das Belichtungsmodul richtet vorzugsweise Licht auf die Verbundbahn und/oder Masterelemente, um ein Masterhologramm in dem Masterelement in die Verbundbahn zu replizieren.

**[0036]** Das Ablösungsmodul sorgt vorzugsweise für eine rückstandsfreie Ablösung der Verbundbahn mit einer ausreichenden Kraft von den Masterelementen, ohne die Bahn zu beschädigen.

**[0037]** Die Integration des Laminierungsmoduls, Belichtungsmoduls und Ablösungsmoduls in dieselbe Vorrichtung ermöglicht es, die Vorrichtung sehr kompakt zu gestalten, was besonders für kleine Serien und kundenspezifische Endprodukte geeignet ist.

**[0038]** Indem die Trägermittel derart konstruiert werden, dass mindestens zwei Flächen jedes Masterelements optisch zugänglich gehalten werden, kann ein und derselbe Durchlauf der Verbundbahn durch die Vorrichtung sowohl die Belichtung von Reflexions- als auch von Transmissionshologrammen umfassen. Beispielsweise kann ein erstes Masterelement von oben auf seine obere horizontale Fläche belichtet werden, so dass das Licht durch die lichtempfindliche Verbundbahn fällt, vom Masterhologramm reflektiert wird und erneut durch die lichtempfindliche Verbundbahn fällt. Dies würde ein Reflexionshologramm erzeugen. Ein zweites Masterelement kann von der Seite oder von unten belichtet werden, so dass das Licht durch das Masterhologramm und dann durch die lichtempfindliche Verbundbahn fällt und ein Transmissionshologramm entsteht.

**[0039]** Die Vorrichtung ermöglicht somit eine größere Flexibilität bei der Herstellung verschiedener Hologramme mit unterschiedlichen Eigenschaften in ein und demselben Durchlauf.

**[0040]** Im Sinne der Erfindung bezeichnet ein „Modul“ vorzugsweise eine Arbeitsstation in einem kontinuierlichen Fertigungsverfahren, welche vorzugsweise mit den erforderlichen technischen Mitteln zur Durchführung des Verfahrensschritts ausgestattet ist. Unterschiedliche Module können voneinander durch ein Gehäuse oder eine Trennwand getrennt werden, müssen es aber nicht. Im Sinne der Erfindung, kann es bevorzugt sein, dass das Laminie-

rungsmodul, das Belichtungsmodul und das Ablösemodul sich im selben Gehäuse befinden.

**[0041]** Eine „Sequenz“ im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise eine Reihenfolge von mehreren Elementen. Die Elemente in der Sequenz können identisch sein und sich wiederholen oder variieren. Die Reihenfolge ist vorzugsweise vorgegeben.

**[0042]** Eine „Anordnung“ im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise eine physische Positionierung von Elementen in vorbestimmten Positionen, vorzugsweise gemäß einer vorbestimmten Reihenfolge. Bevorzugt handelt es sich bei der Anordnung der Masterelemente um eine lineare Anordnung.

**[0043]** Eine „lineare Anordnung“ im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise eine physische Positionierung von Elementen, so dass sie entlang einer ihrer Kanten, entlang ihres Mittelpunkts und/oder eines anderen Bezugspunkts eine Linie bilden. Die „lineare Anordnung“ kann vorzugsweise mehrere Linien umfassen, die zum Beispiel Reihen und Spalten bilden.

**[0044]** Ein „Trägermittel“ im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Mittel, das mehrere Elemente so hält, dass ihre Positionen zueinander fixiert sind. Vorzugsweise umfasst das Trägermittel einen Rahmen, ein Skelett und/oder eine Mehrzahl von Klammern, wobei sich die Klammer auf eine gemeinsame mechanische Referenz, wie beispielsweise eine Schiene, beziehen können. Vorzugsweise umfasst das Trägermittel Lücken und/oder Ausnehmungen, die so gestaltet sind, dass sie genau zu einem Masterelement passen.

**[0045]** Eine „Lamination“ oder „Laminierung“ im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Fügeverfahren zwischen zwei Komponenten. Die Laminierung ist vorzugsweise so gestaltet, dass die Verbundbahn durchgehend eine Fläche bedeckt, so dass keine Lücken, Blasen oder Falten vorhanden sind. Vorzugsweise erfolgt die Laminierung mittels einer Laminierungswalze. Die Laminierung erfolgt hierbei vorzugsweise bei Raumtemperatur, beispielsweise bei einer Temperatur von 20°C -25°C. Die Laminierungswalze kann jedoch auch optional auf 20 - 300 °C, vorzugsweise 20 - 100 °C oder 40 - 80 °C, erhitzt werden. Die Temperatur der Laminierungswalze darf sich vorzugsweise so einstellen, dass die Verbundbahn erweicht wird, aber nicht schmilzt. Die Laminierung ist vorzugsweise so ausgelegt, dass keine dauerhafte Verbindung zwischen der Verbundbahn und den Masterelementen oder dem Trägermittel hergestellt wird. Die Laminierung kann auch mit Hilfe von Hilfsmitteln wie einem Klebstoff erfolgen, wobei der Klebstoff vorzugsweise so schwach ist, dass die Teile mit einer Kraft von weniger als 10 N, vorzugsweise weniger als 5 N, voneinander getrennt

werden können. Der Klebstoff ist vorzugsweise leicht zu reinigen, z. B. durch Wasserlöslichkeit, und hinterlässt keine Rückstände auf der Verbundbahn. Noch bevorzugter verdampft der Klebstoff rückstandsfrei bei einer Raumtemperatur.

**[0046]** Ein „Verbund“ im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein mehrschichtiges Material, das aus zwei oder mehr verschiedenen Komponenten mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften besteht, die an einer Grenzfläche miteinander verbunden sind. Vorzugsweise ist die Bindung zwischen den einzelnen Komponenten derart beschaffen, dass sie nicht durch geringfügigen Krafteinfluss trennbar ist und daher als dauerhaft gilt. Der Verbund kann zum Beispiel aus einer lichtempfindlichen Flüssigkeit, einem Feststoff oder einem Harz bestehen, die zwischen zwei transparenten Trägerfolien eingeschlossen sind. Alternativ oder zusätzlich kann die Verbundbahn einen Stapel von Schichten umfassen, die jeweils für verschiedene Spektralbereiche lichtempfindlich sind.

**[0047]** Eine „Verbundbahn“ im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Verbundmaterial mit einer Länge, die mindestens das Doppelte, vorzugsweise mindestens das Fünffache und noch bevorzugter mindestens das Zwanzigfache seiner Breite beträgt. Die Dicke der Verbundbahn ist vorzugsweise so eingestellt, dass sie eine gewisse Flexibilität aufweist, so dass sie zum Beispiel teilweise um eine Walze gewickelt werden kann. Vorzugsweise weist die Verbundbahn eine Dicke von bis zu 300 µm auf. Die Verbundbahn umfasst ein lichtempfindliches Material. Vorzugsweise schließt die Verbundbahn das lichtempfindliche Material zwischen zwei transparenten Trägerfolien ein, die einen ähnlichen Brechungsindex wie das lichtempfindliche Material haben. Vorzugsweise liegt der Brechungsindex der Trägerfolien und des lichtempfindlichen Materials zwischen 1,4 und 1,6. Das lichtempfindliche Material kann zum Beispiel ein lichtempfindliches Photopolymer oder eine dichromatische Gelatine sein. Das lichtempfindliche Material kann für das gesamte sichtbare Spektrum lichtempfindlich oder wellenlängenselektiv sein.

**[0048]** Unter „Belichtung“ ist im Rahmen der Erfindung vorzugsweise die gezielte Lenkung elektromagnetischer Strahlen auf eine entsprechend empfindliche Oberfläche, vorzugsweise zur Bildung eines Hologramms, zu verstehen. Es sind verschiedene Methoden der Belichtung eines Hologramms bekannt, darunter transmissive oder reflektive Techniken zur Herstellung von Volumen hologrammen. Beispiele dafür werden später in diesem Text näher erläutert.

**[0049]** Ein „Masterelement“ ist vorzugsweise eine dreidimensionale Einheit, welche ein Masterhologramm in einer Form umfasst, welche dessen Hand-

habung und Bewegbarkeit erleichtert. Das Masterhologramm ist insbesondere derart positionsfest von dem Masterelement umfasst, dass eine Bewegung des Masterelements unmittelbar zu einer entsprechenden Bewegung des Masterhologramms führt. Vorzugsweise hat das Masterelement eine Länge und Breite, die ungefähr der des Masterhologramms entspricht. Vorzugsweise ist das Masterelement mindestens doppelt, bevorzugt fünfmal und besonders bevorzugt mindestens zwanzigmal so hoch wie das Masterhologramm. Das Masterelement hat vorzugsweise eine regelmäßige Form, die eine mosaikartige oder lineare Anordnung ermöglicht.

**[0050]** Das Masterelement umfasst einen Substratkörper, der das Masterhologramm entweder umschließt oder trägt. In Ausführungsformen kann das Masterelement beispielsweise eine transparente obere Abdeckung zum Schutz eines Masterhologramms umfassen, das zwischen der Abdeckung und dem Substratkörper vorliegt. Vorzugsweise hat die obere Abdeckung einen Brechungsindex, der so gewählt ist, dass Licht durch sie, das Masterhologramm und den Substratkörper hindurchgelassen wird, ohne wesentlich an den Grenzflächen zwischen dem Substratkörper, Masterhologramm oder der Abdeckung reflektiert zu werden. Die obere Abdeckung kann zum Beispiel eine transparente Folie oder eine Glasschicht sein. Vorzugsweise sind die Materialien des Substratkörpers, des Masterhologramms und der Abdeckung so ausgewählt, dass die Brechzahlunterschiede zwischen den einzelnen Schichten gering ist. Hierdurch können interne Reflexionen vermieden werden.

**[0051]** Vorzugsweise bezieht sich die „Breite“ auf eine Abmessung in einer horizontalen Ebene quer zu einer Verbundbahn-Fließrichtung. Vorzugsweise bezieht sich die „Länge“ auf eine Abmessung in einer horizontalen Ebene längs zu einer Verbundbahn-Fließrichtung. Vorzugsweise bezieht sich die „Höhe“ auf eine Abmessung in einer vertikalen Ebene, die orthogonal zu der durch die Breite und Länge gebildeten Ebene liegt.

**[0052]** Ein „Substratkörper“ im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein dreidimensionaler Materialblock, der das Masterhologramm trägt oder umschließt. Vorzugsweise ist der Substratkörper transparent. Der Substratkörper hat vorzugsweise mehrere Flächen, darunter eine obere Fläche, die horizontal ausgerichtet sein kann.

**[0053]** Im Sinne der Erfindung bezieht sich der Begriff „transparent“ oder „Transparenz“ vorzugsweise auf eine Eigenschaft eines Materials, wodurch es im Wesentlichen durchlässig für Licht ist. Vorzugsweise ist ein transparentes Material im Sinne der Erfindung zumindest für einen Teil des elektromagnetischen Spektrums transmittierend, vorzugsweise

mit einer Wellenlänge zwischen 100 nm - 1 mm, besonders bevorzugt zwischen 400 nm - 780 nm. Besonders bevorzugt ist ein transparentes Material beispielsweise ein transparenter Substratkörper durchlässig für Licht eines Wellenlängenbereichs mit welchem eine Belichtung der Masterhologramme erfolgt. Ein transparentes Material kann auch so eingefärbt sein, dass es die Lichtstrahlung einer bestimmten Wellenlänge selektiert.

**[0054]** Ein „Masterhologramm“ im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein holographisch-optisches Element umfassend mindestens ein zu replizierendes Hologramm. Das Masterhologramm ist für eine optische Funktion (z.B. Beugung, Reflexion, Transmission und/oder Brechung) für eine oder eine Mehrzahl an Wellenlängen ausgelegt. Hierzu können beispielsweise mehrere Hologramme, die z. B. jeweils Licht einer Wellenlänge beugen und/oder Multiplex-Hologramme, die Licht mehrerer Wellenlängen beugen, als Hologramm-Stacks angeordnet vorliegen. Bei dem Masterhologramm kann es sich beispielsweise um ein diffraktives optisches Element (DOE) handeln. Diffraktive optische Elemente (DOEs) nutzen ein Oberflächenreliefprofil mit einer Mikrostruktur für ihre optische Funktion. Alternativ kann die Mikrostruktur auch im Volumen des Elements in Form eines lokalen Unterschieds im Brechungsindex vorliegen. Das von einem DOE durchgelassene Licht kann durch Beugung und anschließende Ausbreitung in fast jede gewünschte Verteilung umgewandelt werden. Dabei kann es sich um ein Bild, ein Logo, einen Text, ein Lichtbrechungsmuster oder ähnliches handeln. Darüber hinaus kann es sich bei dem Masterhologramm um ein technisches Hologramm handeln, wie beispielsweise ein Bragg-Spiegel, einen Diffusor oder ein als Linse fungierende Hologramm.

**[0055]** Der Prozess zur Herstellung des Masterhologramms kann vorzugsweise als „Hologramm-Origination“ oder „Hologramm-Mastering“ bezeichnet werden. Das Masterhologramm kann mit einem analogen oder digitalen Verfahren erstellt werden. In einem beispielhaften analogen Verfahren wird ein erster kohärenter Strahl, der Objektstrahl, von einem Objekt und auf ein Aufzeichnungsmaterial reflektiert, das gleichzeitig einem zweiten kohärenten Strahl, dem Referenzstrahl, ausgesetzt ist. Der Objektstrahl und der Referenzstrahl interferieren und erzeugen ein Interferenzmuster auf dem Aufzeichnungsmaterial. Dieses Interferenzmuster oder Streifenmuster wird von lichtempfindlichem Material aufgezeichnet, das nach der Verarbeitung die Form eines Oberflächenreliefmusters auf einer Oberfläche des Materials oder von räumlich variierenden Brechungsindizes nur wenige Mikrometer unter der Oberfläche annimmt. Um ein Bild des ursprünglichen Objekts zu betrachten, kann das Masterhologramm mit Licht beleuchtet werden, das von dem aufge-

zeichneten Oberflächenreliefmuster oder Brechungsindexmuster gebeugt wird. Dieser gebeugte Strahl enthält das Bild des ursprünglichen Objekts. Das Masterhologramm kann dann bei der Erstellung weiterer Kopien mit demselben Bild als neues Objekt verwendet werden.

**[0056]** Das Masterhologramm kann vorzugsweise auch computergeneriert sein. Die mikroskopischen Gitter, welche die Beugungseffekte erzeugen, können z. B. durch Laserinterferenzlithographie hergestellt werden. Bei dieser Technik werden zwei oder mehr kohärente Lichtstrahlen so konfiguriert, dass sie an der Oberfläche eines Aufzeichnungsmaterials interferieren. Die Positionen der Lichtstrahlen in Bezug auf das Aufzeichnungsmaterial können von einem Computer gesteuert werden. Je nach Stärke des Lasers kann das Aufzeichnungsmaterial aus nahezu jedem Material bestehen. Andere Techniken wie die Elektronenstrahlithographie können ebenfalls zur digitalen Herstellung des Masterhologramms verwendet werden. Das Masterhologramm kann vorzugsweise Glas, Silizium, Quarz, UV-Lack, ein Fotopolymerverbund und/oder ein Metall wie Nickel umfassen.

**[0057]** Eine „optisch zugängliche Fläche“ im Sinne der Erfindung ist eine Fläche, die zu mindestens 50 %, vorzugsweise zu mindestens 60%, 70%, 80 % oder 90% und besonders bevorzugt zu 100 % nicht von einem optisch absorbierenden Material bedeckt ist. Ein optisch absorbierendes Material ist insbesondere nicht zwischen der betreffenden Oberfläche und einer Lichtquelle für die Belichtung vorhanden. In einigen Fällen kann, je nach Form des Masterelements, ein undurchsichtiger Rahmen des Trägermittels einen Teil der optisch zugänglichen Oberfläche bedecken. Vorzugsweise bedeckt der Rahmen nicht mehr als 50%, vorzugsweise nicht mehr als 40%, 30%, 20 % oder 10% der optisch zugänglichen Fläche. Vorzugsweise ist eine optisch zugängliche Fläche auch wenig reflektierend. Es kann bevorzugt sein, dass die optisch zugängliche Fläche einen Reflexionsgrad für sichtbares Licht bei normalem Einfallswinkel von weniger als 50 %, vorzugsweise weniger als 40 %, weniger als 30 %, weniger als 20 % oder weniger als 10 % aufweist. In einigen bevorzugten Ausführungsformen weist eine optisch zugängliche Fläche eine Antireflexbeschichtung (AR-Beschichtung) auf. Hierdurch kann die Ausnutzung des einfallenden Lichtes für die Belichtung der Verbundbahn erhöht werden.

**[0058]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Vorrichtung ein Transportmodul für den Transport einer lichtempfindlichen Verbundbahn über die Sequenz von Masterelementen. Das Transportmodul umfasst vorzugsweise eine oder mehrere Transportwalzen, zum Beispiel eine Zugwalze, die die Verbundbahn vorwärtsbewegt.

Dies kann zu einem halbkontinuierlichen Prozess mit einem rollenförmigen Zwischenprodukt führen, das zum Schneiden an weitere Arbeitsstationen weitergeleitet werden kann.

**[0059]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung liegen die Masterelemente in dem ersten Trägermittel entlang einer linearen Anordnung getrennt vor, wobei die Masterelemente vorzugsweise durch lichtabsorbierende Abstandshalter getrennt werden und/oder wobei an vertikalen Flächen der Masterelemente eine lichtabsorbierende Schicht aufgetragen ist.

**[0060]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Vorrichtung ein oder mehrere optisch transparenten Einkopplungselementen, wobei die Einkopplungselemente auf eine auf den Masterelementen laminierten Verbundbahn aufbringbar sind, so dass ein Teilabschnitt der Verbundbahn während der Belichtung zwischen dem einen oder mehreren Einkopplungselementen und den Masterelementen eingeschlossen wird. Die Vorrichtung kann für die Anordnung von einem oder mehreren optisch transparenten Einkopplungselementen auf der laminierten Verbundbahn verwendet werden, um ein Teilabschnitt der Verbundbahn während der Belichtung zwischen dem einen oder mehreren Einkopplungselementen und den Masterelementen einzuschließen.

**[0061]** Im Sinne der Erfindung ist ein „Einkopplungselement“ vorzugsweise ein dreidimensionaler Block aus transparentem Material mit einem Brechungsindex und Abmessungen, die so konfiguriert sind, dass sie die Belichtungsstrahlen auf die Masterhologramme richten und/oder von ihnen wegführen. Das Einkopplungselement kann vorzugsweise verschiedene optisch zugängliche Flächen aufweisen. Vorzugsweise ist mindestens eine Seitenfläche und eine Unterseite des Einkopplungselements optisch zugänglich. Vorzugsweise ist eine optisch zugängliche Fläche des Einkopplungselements auch wenig reflektierend. Es kann bevorzugt sein, dass die optisch zugängliche Fläche einen Reflexionsgrad für sichtbares Licht bei normalem Einfallswinkel von weniger als 50 %, vorzugsweise weniger als 40 %, weniger als 30 %, weniger als 20 % oder weniger als 10 % aufweist. In einigen bevorzugten Ausführungsformen weist eine optisch zugängliche Fläche eine Antireflexbeschichtung (AR-Beschichtung) auf. Hierdurch kann die Ausnutzung des einfallenden Lichtes für die Belichtung der Verbundbahn erhöht werden.

**[0062]** Mit dem Einkopplungselement kann ein Belichtungsstrahl auf eine Seitenfläche oberhalb eines Masterhologramms gerichtet werden. Der Winkel des Belichtungsstrahls kann so gewählt werden, dass er zusätzlich eine untere Fläche des Einkop-

plungselements durchläuft und das Masterhologramm erreicht, bevor er durch die Verbundbahn zurückreflektiert wird. Das reflektierte Licht wird durch das Einkopplungselement derart gelenkt, dass es nicht auf benachbarte Teile der Verbundbahn trifft und seine Streuung minimiert wird. Alternativ kann das Licht auch durch das Masterhologramm geleitet werden, um ein Transmissionshologramm in der Verbundbahn zu belichten.

**[0063]** Das Einkopplungselement kann auch dazu dienen, die Verbundbahn über die Oberfläche der Masterelemente festzuhalten. Da das Einkopplungselement zwischen den Serien nicht ausgetauscht werden muss, kann eine einzige Platte verwendet werden, die alle linear angeordneten Masterelemente im Trägermittel abdeckt. Auf diese Weise besteht keine Gefahr, dass Kanten der Einkopplungselemente Spuren auf der Verbundbahn hinterlassen könnten. Außerdem wird das Ausrichten des Einkopplungselements über dem Trägermittel vereinfacht.

**[0064]** Es kann jedoch bevorzugt werden, mehrere Einkopplungselemente zu verwenden. Dies reduziert die Größe und das Gewicht jedes Einkopplungselements und erleichtert die Lagerung und den Austausch. Dies bietet zudem Vorteile bei der Qualität der Einkopplungselemente, da Polieranlagen für die verwendeten Materialien oft eine maximale Größengrenzung haben. Ein hoher Politurgrad kann erreicht werden, indem die Abmessungen des Einkopplungselements auf diese Weise begrenzt werden.

**[0065]** Es kann besonders vorteilhaft sein, wenn eine Kontaktfläche der Einkopplungselemente mit der Verbundbahn die gleiche Länge und Breite aufweist, wie eine Kontaktfläche der Masterelemente mit der Verbundbahn und ihnen unmittelbar gegenüber angeordnet werden. Dadurch wird eine passgenaue Zuordnung der beiden Elemente zueinander ermöglicht und insofern die Einkopplungselemente Abdrücke oder Spuren auf der Verbundbahn hinterlassen würden, befänden sich diese im Pufferbereich zwischen replizierten Hologrammen. In bevorzugten Ausführungsformen können die Einkopplungselemente und Masterelemente in Bezug auf Größe und Form einen identischen Substratkörper aufweisen. Auf diese Weise können die Substratkörper kostengünstiger in größeren Stückzahlen hergestellt und gelagert werden.

**[0066]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist jedem Masterelement jeweils ein Einkoppelement zugeordnet. Vorzugsweise ist mindestens eine untere Fläche des jeweiligen Einkoppelementes kongruent zu einer oberen Fläche des korrespondierenden Masterelementes.

**[0067]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung liegen die Einkopplungselemente auf einem höhenverstellbaren zweiten Trägermittel angeordnet vor. Das zweite Trägermittel kann analog zum ersten Trägermittel konfiguriert werden. Es kann bevorzugt sein, dass die zweiten Trägermittel lichtabsorbierende Abstandhalter zwischen den Einkopplungselementen umfassen. Dadurch kann verhindert werden, dass die Lichtstrahlen benachbarte Einkopplungselemente erreichen oder in benachbarte Teile der Verbundbahn reflektiert werden.

**[0068]** Mittels des höhenverstellbaren zweiten Trägermittels können die Einkopplungselemente vorzugsweise nach einer Laminierung der Verbundbahn und vor deren Belichtung mit der Verbundbahn in Kontakt gebracht werden.

**[0069]** Hierbei kann es bevorzugt sein, dass die Laminierung in der gleichen Strecke der Verbundbahn wie die Belichtung erfolgt. Während des Laminierens kann das zweite Trägermittel mit den Einkoppelementen in einem Abstand von der Verbundbahn gehalten werden (erste Höhe). Die Laminierung der Verbundbahn kann mit Hilfe einer Walze erfolgen, welche auf die Verbundbahn abgesenkt wird und über die Verbundbahn rollt, um sie in engen Kontakt mit der ausgerichteten horizontalen Oberfläche der Masterelemente zu bringen. Die Laminierwalze kann anschließend angehoben oder zurückgezogen werden, sodass die Einkopplungselemente im Anschluss abgesenkt werden können, um einen Kontakt mit der Verbundbahn herzustellen (zweite Höhe). In der Position der Einkoppelemente wird die Verbundbahn mithin zwischen den Einkoppelementen und den Masterelementen eingeklemmt.

**[0070]** Die Belichtung kann sowohl über die Masterelemente als über die Einkoppelemente durchgeführt werden. Nachdem die Belichtung abgeschlossen ist, können die Einkopplungselemente wieder auf eine erste Höheposition im Abstand angehoben werden. Eine optionale Fixierung kann an Ort und Stelle erfolgen und die Verbundbahn kann von der Oberfläche der Masterelemente abgelöst werden, z. B., indem eine oder mehrere andere Walzen von unten einen oder mehrere Teile der Verbundbahn anheben, die außerhalb des ersten Trägermittels für die Masterelemente liegen. Das erste Trägermittel bleibt zugänglich, so dass die Reihenfolge der Masterelemente geändert werden kann. Auf diese Weise können mehrere Prozessschritte in einem einzigen Bereich durchgeführt werden. Dies erhöht die Kompaktheit eines Verfahrens, das durch die erfindungsgemäße Vorrichtung durchgeführt wird.

**[0071]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist eine untere Fläche der Einkopplungselemente durch einen verformbaren transpa-

renten Einkopplungsabschnitt gebildet. Im Sinne der Erfindung ist ein „Einkopplungsabschnitt“ vorzugsweise ein Teil der Einkopplungselemente, der aus einem transparenten verformbaren Material besteht und so gestaltet ist, dass er einen vollständigen optischen Kontakt zwischen dem Einkopplungselement und einem oder mehreren Masterelementen gewährleistet. Vorzugsweise ist der Brechungsindex des Einkopplungsabschnitts identisch mit oder innerhalb eines Bereichs von +/-20%, vorzugsweise +/-10%, noch bevorzugter +/-5% des Brechungsindex des Hauptkörpers des Einkopplungselements, der Verbundbahn, einer oberen Abdeckung des Masterelements, des Masterhologramms und/oder des Substratkörpers des Masterelements.

**[0072]** Die Verformbarkeit des Einkopplungsabschnitts erlaubt es, diesen derart auf die Verbundbahn zu drücken, während sich die Verbundbahn auf der ausgerichteten Oberfläche der Masterelemente befindet, dass keine Lücken oder Blasen zurückbleiben. Dadurch wird ein besonders homogener optischer Kontakt zwischen den drei Elementen des Sandwichs gewährleistet. Unerwünschte optische Aberrationen oder Muster werden vermieden, wodurch das Endprodukt eine höhere Qualität erhält.

**[0073]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein Material des Einkopplungsabschnitts derart ausgewählt, dass es ein Schubmodul von mindestens 10 kPa, vorzugsweise von mindestens 100 kPa und noch bevorzugter von mindestens 1 MPa aufweist. Es kann auch bevorzugt sein, dass das Material des Einkopplungsabschnitts ein Elastizitätsmodul zwischen 1 MPa und 50 MPa aufweist. Es kann auch bevorzugt sein, dass das Material einen Brechungsindex zwischen 1,4 und 1,6 aufweist. Als Material hat sich Silikon als besonders geeignet erwiesen, um einen ausreichenden Brechungsindex zu erreichen und gleichzeitig ausreichend elastisch, leicht zu reinigen zu sein und keine Rückstände auf der Verbundbahn zu hinterlassen.

**[0074]** Das Laminierungsmodul umfasst vorzugsweise eine Laminierungswalze. Diese kann höhenverstellbar in der Vorrichtung untergebracht sein und entlang einer vorgegebenen Bahn rollen, um die Verbundbahn auf die Oberseite der Masterelemente zu drücken. Es kann vorteilhaft sein, dass die Laminierungswalze derart untergebracht ist, dass sie sich entlang eines vorbestimmten Weges bewegen kann, wobei das Laminierungsmodul vorzugsweise einen Aktuator zum Bewegen der Laminierungswalze entlang dieses Weges umfasst. Der Aktuator ist vorzugsweise durch eine Steuereinheit kontrolliert. Vorzugsweise umfasst der Weg ein diagonales Absenken der Laminierungswalze von einer ersten Höhe und einer ersten seitlichen Position, die nicht direkt über dem ersten Trägermittel liegt, in Richtung einer oberen Fläche eines ersten Mastere-

lements. Der Weg umfasst vorzugsweise auch eine horizontale Rollbewegung der Laminierungswalze in einer zweiten Höhe, die niedriger als die erste ist, entlang der Oberseite der Masterelemente, bis sie ein letztes Masterelement  $n$  der Sequenz erreicht. Die Laminierungswalze ist vorzugsweise so konfiguriert, dass sie während eines Belichtungsprozesses der Sequenz auf der zweiten Höhe und in einer zweiten seitlichen Position stromabwärts des letzten Masterelements gehalten wird.

**[0075]** Es kann bevorzugt sein, dass eine optische Flüssigkeit vor der Belichtung auf die horizontale Oberfläche der Masterelemente und/oder der Verbundbahn aufgetragen wird. Vorzugsweise umfasst die Vorrichtung Mittel zum Auftragen einer solchen optischen Flüssigkeit. Diese kann einen Brechungsindex nahe dem des Substratkörpers der Masterelemente, des Einkopplungselements und/oder der Verbundbahn haben, um eine störungsfreie Übertragung des Lichts zu gewährleisten. Die optische Flüssigkeit kann zudem den optischen Kontakt zwischen den Elementen verbessern, da etwaige Keilfehler ausgeglichen werden.

**[0076]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird vor der Belichtung eine optische Klebefolie zwischen zwei Prozesskomponenten der Vorrichtung oder des Systems vorübergehend eingebracht. Vorzugsweise umfasst die Vorrichtung Mittel zum Auftragen einer solchen optischen Klebefolie. Beispielsweise kann die optische Klebefolie zwischen einem Masterelement und der Verbundbahn und/oder zwischen der Verbundbahn und einem Einkopplungselement eingebracht werden.

**[0077]** Im Sinne der Erfindung ist eine „optische Klebefolie“ vorzugsweise eine transparente Folie mit einem Brechungsindex nahe dem Brechungsindex des Masterelements, der Verbundbahn und/oder des Einkopplungselements. Die optische Klebefolie ist vorzugsweise dazu eingerichtet, einen optischen Kontakt zwischen zwei belichteten Prozesskomponenten zu verbessern, sodass Reflexionen an der Grenzfläche zwischen den Prozesskomponenten reduziert oder eliminiert werden.

**[0078]** Vorzugsweise weisen die für die optische Klebefolie verwendeten Materialien identische oder ähnliche optische Eigenschaften auf, wie jene Materialien, welche für das Substrat des Masterelements (oder des Einkopplungselements oder dessen Einkopplungsabschnitt) und/oder die Verbundbahn verwendet werden. Vorzugsweise umfassen die ähnlichen oder identischen Eigenschaften die Transparenz, Haze, Spannungsdoppelbrechungseigenschaften und/oder den Brechungsindex. Die Verwendung identischer oder ähnlicher Materialien ermöglicht eine sehr enge Anpassung des Brechungsindex der optischen Klebefolie an die Bre-

chungsindizes der angrenzenden Prozesskomponenten, so dass ein Übergang zwischen den benachbarten Brechungsindizes ohne Brechungsindexsprünge gewährleistet werden kann. Reflexionen an der Grenzfläche zwischen dem Masterelement (oder dem Einkopplungselement), der optischen Klebefolie und/oder der lichtempfindlichen Verbundbahn werden dadurch weitgehend eliminiert oder deutlich minimiert werden.

**[0079]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung beträgt eine Brechungsindexdifferenz zwischen der Oberfläche (oder einer Abdeckung) des Masterelements und der optischen Klebefolie und/oder zwischen der optischen Klebefolie und einer Oberfläche der lichtempfindlichen Verbundbahn nicht mehr als 0,2, bevorzugt nicht mehr als 0,1 und stärker bevorzugt nicht mehr als 0,05. Ebenso ist in dem Fall, in dem die optische Klebefolie zwischen die lichtempfindliche Verbundbahn und ein Einkopplungselement gebracht wird, der Unterschied zwischen dem Brechungsindex der optischen Klebefolie und einer benachbarten Oberfläche des Einkopplungselements vorzugsweise nicht mehr als 0,2, noch bevorzugter nicht mehr als 0,1 und noch bevorzugter nicht mehr als 0,05.

**[0080]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung liegt ein Brechungsindex der optischen Klebefolie zwischen dem Brechungsindex der Oberfläche des Masterelements und dem Brechungsindex einer Oberfläche der lichtempfindlichen Verbundbahn. Falls die optische Klebefolie zwischen der lichtempfindlichen Verbundbahn und einem Einkopplungselement angeordnet wird, liegt der Brechungsindex der optischen Klebefolie vorzugsweise zwischen dem der lichtempfindlichen Verbundbahn und dem des Einkopplungselements. In diesem Zusammenhang schließt der Begriff „zwischen“ vorzugsweise auch die Werte der Brechungsindizes der benachbarten Prozesskomponenten selbst ein. Diese Anordnung ermöglicht einen sanften bzw. störungsfreien Übergang von Lichtstrahlen zwischen den verschiedenen Prozesskomponenten mit minimalen Reflexionen und/oder Aberrationen an Grenzflächen.

**[0081]** Weiterhin ist die optische Klebefolie vorzugsweise ein Feststoff, in welchem die Brownsche Molekularbewegung hinreichend klein ist, wodurch ein „Wackeln“ der Phase des Lichtes verhindert und damit ein innerhalb der Belichtungszeit stabileres Interferenzfeld in der Hologrammkopie ergibt. Die Mikrostrukturen verwischen auf diese Weise nicht, wodurch die Beugungseffizienz der Hologramme maximal wird. Auch die Schärfe und der Kontrast des erzeugten Hologramms wird deutlich verbessert. Die optische Klebefolie verbessert den optischen Kontakt zwischen belichteten transparenten Bauteilen, durch die das Belichtungslicht geleitet wird.

Dadurch werden unerwünschte Reflexionen, Streuungen oder Verluste reduziert und die Qualität des reproduzierten Hologramms erhöht.

**[0082]** Die optische Klebefolie kann analog zur Verbundbahn geformt und auf analoge Weise durch den Prozess bewegt werden, z.B. mit Hilfe von Walzen. Dies ermöglicht eine einfache Synchronisation der optischen Klebefolie mit der Verbundbahn. Es ist auch möglich und kann bevorzugt sein, dass die optische Klebefolie und/oder die lichtempfindliche Verbundbahn durch eine Laminierungswalze auf der Oberfläche des Masterelements oder der Oberfläche des Einkopplungselements aufgebracht wird. Hierbei kann dieselbe Walze für die Laminierung der Verbundbahn und der optischen Klebefolie verwendet werden.

**[0083]** Im Gegensatz zu den aus dem Bereich der optischen Displays bekannten OCA's (optical clearance adhesive) weist die optische Klebefolie vorzugsweise neben ihren vorteilhaften optischen Eigenschaften eine geringe Klebekraft auf. Hierdurch kann die optische Klebefolie nach der Verwendung rückstandsfrei und mit geringer Kraft von einer Oberfläche entfernt werden.

**[0084]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die optische Klebefolie mindestens eine Klebeschicht. Die mindestens eine Klebeschicht weist vorzugsweise eine Schälkraft gegenüber der Oberfläche des Masterelementes und/oder des Einkopplungselements und/oder einer Oberfläche der lichtempfindlichen Verbundbahn von weniger als 3 N/cm (Newton per centimeter), bevorzugt weniger als 1 N/cm. In bevorzugten Ausführungsformen beträgt die Schälkraft der Klebeschicht der optischen Klebefolie gegenüber der Oberfläche des Masterelementes und/oder des Einkopplungselements und/oder einer Oberfläche der lichtempfindlichen Verbundbahn jedoch mindestens 0,01 N/cm, bevorzugt mindestens 0,1 N/cm. Die Schälkraft der optischen Klebefolie oder einer ihrer Schichten kann beispielsweise nach einem 180-Grad-Schältest gemessen werden. In Vorzugsformen erfolgt die Messung gemäß ASTM D903.

**[0085]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die optische Klebefolie einen einschichtigen Schichtaufbau auf, wobei der Schichtaufbau genau eine Klebeschicht aufweist. Die genau eine Klebeschicht ist vorzugsweise auf beiden Seiten haftend, um einen optischen Kontakt zu vermitteln.

**[0086]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die optische Klebefolie zwei Klebeschichten, wobei vorzugsweise jede Klebeschicht unmittelbar auf einer Trägerschicht aufgebracht vorliegt, so dass die optische Klebefolie drei Schichten umfasst. Eine solche optische Klebefolie kann auf

zwei Oberflächen gleichzeitig haften, wodurch ein besonders guter optischer Kontakt vermittelt werden kann und eine Gefahr von Luftspalten oder unerwünschten Reflexionen verringert wird.

**[0087]** In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Vorrichtung eine Abwicklungswalze für die Abwicklung der optischen Klebefolie und eine Aufwicklungswalze für die Aufwicklung der optischen Klebefolie nach der Verwendung. Das Verfahren, welches vorzugsweise durch die Steuereinheit kontrolliert wird, umfasst vorzugsweise einen Schritt der Entfernung der optischen Klebefolie von der relevanten Prozesskomponente nach der Belichtung. Vorzugsweise umfasst die Vorrichtung zudem eine Laminierungswalze für die vorübergehende Laminierung der optischen Klebefolie auf der Oberfläche eines Masterelements, einer Verbundbahn und/oder eines Einkopplungselements. Vorzugsweise kann die optische Klebefolie ein- oder beidseitig mit Schutzschichten vorgesehen werden. Die Vorrichtung kann Aufwicklungsrollen für die Entfernung der Schutzschichten vor der Verwendung der optischen Klebefolie umfassen.

**[0088]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das erste Trägermittel dafür konfiguriert, die Masterelemente in zwei parallelen Reihen anzuordnen. Durch die Verwendung von mindestens zwei Reihen kann die Größe der Masterelemente bei gleichzeitiger optimaler Ausnutzung der gesamten Breite der Verbundbahn noch weiter reduziert werden. Insofern Änderungen in einem Teilbereich eines zu replizierenden größeren Masterhologramm erforderlich sind, können diese ebenfalls kleinteiliger vorgenommen werden. Zudem kann auch die Effizienz des Verfahrens verbessert werden, da gleichzeitig eine höhere Anzahl identischer oder verschiedener Masterhologramme repliziert werden kann.

**[0089]** Mit einer ausreichenden Lichtintensität ist es möglich, beide Reihen von einer optisch zugänglichen Seite der Masterelemente aus zu belichten. Das heißt, der in die Seitenfläche eines Masterelements einer ersten Reihe gerichtete Lichtstrahl kann ein in Strahlrichtung dahinterliegendes Masterelement der zweiten Reihe erreichen. Dies erhöht die Effizienz des Prozesses weiter, da mittels einer Lichtquelle gleichzeitig zwei Masterhologramme repliziert werden können.

**[0090]** Ebenso kann es bevorzugt sein, jede Reihe separat zu belichten, zum Beispiel mit getrennten Lichtquellen, die auf zwei gegenüberliegende Seiten der Anordnung der Masterelemente gerichtet sind. Vorzugsweise werden die Reihen der Masterelemente durch einen lichtabsorbierenden Abstandhalter getrennt, wobei der Abstandhalter vorzugsweise Teil des ersten Trägermittels ist. Der lichtabsorbierende Abstandhalter verhindert, dass unerwünsch-

tes Licht von einem Masterelement in ein anderes eindringt, und vermeidet so optische Störungen wie Cross-Talk. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn die Masterelemente der verschiedenen Reihen aus unterschiedlichen Winkeln oder mit unterschiedlichen Wellenlängen belichtet werden sollen.

**[0091]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst das Belichtungsmodul eine Lichtquelle.

**[0092]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird von der Lichtquelle ein kohärenter Lichtstrahl ausgesandt. Kohärenz bezeichnet bevorzugt die Eigenschaft von optischen Wellen, wonach es zwischen zwei Wellenzügen eine feste Phasenbeziehung gibt. Als Folge der festen Phasenbeziehung zwischen den beiden Wellenzügen können räumlich stabile Interferenzmuster entstehen. Hinsichtlich der Kohärenz kann zwischen einer zeitlichen und räumlichen Kohärenz unterschieden werden. Eine räumliche Kohärenz stellt bevorzugt ein Maß für eine feste Phasenbeziehung zwischen Wellenzügen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung dar und ist beispielsweise für parallele Lichtstrahlen gegeben. Eine zeitliche Kohärenz stellt bevorzugt eine feste Phasenbeziehung zwischen Wellenzügen entlang der Ausbreitungsrichtung dar und ist insbesondere für schmalbandige, vorzugsweise monochromatische Lichtstrahlen gegeben.

**[0093]** Die Kohärenzlänge bezeichnet bevorzugt einen maximalen Weglängen- oder Laufzeitunterschied, den zwei Lichtstrahlen von einem Ausgangspunkt aufweisen, damit bei ihrer Überlagerung noch ein (räumlich und zeitlich) stabiles Interferenzmuster entsteht. Die Kohärenzzeit bezeichnet bevorzugt die Zeit, die das Licht benötigt, um eine Kohärenzlänge zurückzulegen.

**[0094]** In bevorzugten Ausführungsformen umfasst die Lichtquelle ein Laser. Besonders bevorzugt handelt es sich um einen schmalbandigen, vorzugsweise monochromatischen Laser mit einer bevorzugten Wellenlänge im sichtbaren Bereich (vorzugsweise 400 nm bis 780 nm). Nicht abschließende Beispiele umfassen Festkörperlaser, vorzugsweise Halbleiterlaser bzw. Laserdioden, Gaslaser oder Farbstofflaser.

**[0095]** Auch andere Lichtquellen, vorzugsweise kohärente Lichtquellen, können Verwendung finden. Bevorzugt sind schmalbandige Lichtquellen, vorzugsweise monochromatische Lichtquellen, wozu beispielsweise Leuchtdioden (LEDs), optional in Kombination mit Monochromatoren gehören.

**[0096]** Für eine Replikation mit unterschiedlichen Wellenlängen kann es bevorzugt sein, eine Beleuchtungsstrahlung in verschiedenen Wellenlängenberei-

chen, z.B. in einem roten Wellenlängenbereich (vorzugsweise 630 nm - 700 nm), einem grünen Wellenlängenbereich (vorzugsweise 500 nm - 560 nm) und/oder einem blauen Wellenlängenbereich (vorzugsweise 450 nm - 475 nm) bereitzustellen.

**[0097]** Beispielsweise kann zu diesem Zweck ein Lasersystem mit drei monochromatischen Lasern oder einem polychromatischen Laser mit einer Laseremission jeweils im roten, grünen oder blauen (RGB) Bereich bereitgestellt werden. Es kann auch bevorzugt sein, dass die Lichtquelle ein Weißlichtlaser und einen einstellbaren Wellenlängenfilter umfasst, der so konfiguriert ist, dass die Wellenlänge, mit der die Verbundbahn belichtet wird, eingestellt werden kann.

**[0098]** Das Belichtungsmodul kann auch einen oder mehrere Motoren umfassen, die so konfiguriert sind, dass sie einen Winkel der Lichtquelle einstellen und/oder die Lichtquelle entlang einer Bahn bewegen. Die Lichtquelle kann zum Beispiel als Scanning-Lichtquelle konfiguriert sein. Die Lichtquelle kann auch mit einer Achse ausgestattet sein, entlang der sie gleiten kann. Das Belichtungsmodul kann auch einen oder mehrere Spiegel umfassen, deren Position ebenfalls einstellbar sein kann, um den Weg eines Lichtstrahls auf die Masterelemente und/oder die Verbundbahn zu lenken. Das Belichtungsmodul kann auch eine oder mehrere Linsen enthalten, zum Beispiel eine Zerstreuungslinse, um einen Lichtstrahl auf dem Masterelement zu verbreitern. Es kann auch von Vorteil sein, wenn das Belichtungsmodul mit Mitteln ausgestattet ist, um die Intensität des von der Lichtquelle auf die Masterelemente und/oder die Verbundbahn fallenden Lichts einzustellen.

**[0099]** Die Belichtung zur Replikation eines Masterhologramms mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann auf Basis verschiedener Techniken erfolgen. Hologramm-Vervielfältigungsverfahren lassen sich in Reliefhologramme und Volumenhologramme unterteilen.

**[0100]** Reliefhologramme werden durch physischen Kontakt zwischen einer verformbaren empfindlichen Schicht und einem Masterhologramm gebildet, so dass das Beugungsmuster des Masterhologramms in die empfindliche Schicht eingeprägt wird.

**[0101]** Ein Volumenhologramm wird vorzugsweise durch die Interferenz von zwei Lichtstrahlen (einem sogenannten Referenzstrahl und einem Objektstrahl) in eine empfindliche Schicht geschrieben. Vorzugsweise wird ein Volumenhologramm in die Verbundbahn eingeschrieben. Dies kann vorzugsweise durch eine Transmissions- oder Reflexionstechnik erfolgen. Durch Interferenz von Objekt- und Referenzstrahlen innerhalb des Hologrammvolumens

entsteht vorzugsweise eine Folge von Braggebenen. Ein Volumenhologramm weist mithin bevorzugt eine nicht zu vernachlässigende Ausdehnung in der Ausbreitungsrichtung der Lichtstrahlen auf, wobei bei der Rekonstruktion an einem Volumenhologramm die Bragg-Bedingung gilt. Aus diesem Grunde weisen Volumenhologramme eine Wellenlängen- und/oder Winkelselektivität auf. Die Fähigkeit von Volumenhologrammen, mehrere Bilder gleichzeitig zu speichern ermöglicht u.a. die Herstellung farbiger Hologramme. Für die Aufnahme der Hologramme können Lichtquellen eingesetzt werden, welche die drei Grundfarben blau, grün und rot aussenden. Die drei Strahlenbündel belichten bevorzugt simultan unter gleichen Winkeln ein Teil der Verbundbahn. Im Volumenhologramm sind nach der Belichtung gleichzeitig drei Hologramme gespeichert. Zur Reproduktion des Farbhologramms kann ausgenutzt werden, dass jedes Teilhologramm sich allein durch die Farbe rekonstruieren lässt, mit der es aufgenommen wurde. Mithin überlagern sich die drei rekonstruierten Farbauszüge zum farbigen, originalgetreuen Bild, sofern die Farbanteile richtig gewichtet sind.

**[0102]** Reflexionshologramme sind reflektive Hologramme, welche ein von der Lichtquelle eintreffende Licht reflektieren und somit wie ein Spiegel wirken. Vorzugsweise kann eine Einfallrichtung des Referenzstrahl (vorzugsweise ein einfallender Lichtstrahl von der Lichtquelle) und das Objekt (in diesem Fall das Masterhologramm) auf gegenüberliegenden Seiten der Verbundbahn angeordnet. Ein Referenzstrahl durchdringt die Verbundbahn und wird dann vom Masterhologramm zurück in die lichtempfindliche Schicht der Verbundbahn reflektiert. In der lichtempfindlichen Schicht der Verbundbahn überlagern sich mithin der Referenzstrahl und Objektstrahl unterschiedliche Strahlrichtungen, um das replizierte Hologramm zu erzeugen. Das Masterhologramm kann vorzugsweise auf eine Oberfläche des Masterelements aufgebracht werden oder im Substratkörper integriert vorliegen.

**[0103]** Die Lichtquelle für ein Reflexionshologramm kann so angeordnet werden, dass der Referenzstrahl auf die Verbundbahn unter einer gewünschten Richtung einfällt, vorzugsweise unter einer Richtung, welche bei der späteren Rekonstruktion gewünscht ist. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Lichtquelle in Bezug auf dem Masterelement so orientiert, dass sich die Verbundbahn zwischen der Lichtquelle und dem Masterelement befindet. Die Lichtquelle kann beispielsweise oberhalb des Masterelements derart ausgerichtet sein, sodass der Referenzstrahl nach unten unter einer vorbestimmten Richtung auf die Verbundbahn fällt. Der Referenzstrahl wird bevorzugt zumindest teilweise vom Masterelement in Form eines Objektstrahls zurück in die Verbundbahn reflektiert. Der Referenzstrahl und der Objektstrahl treten also von entgegengesetzten Sei-

ten in den Fotopolymerverbund ein und interferieren in dessen lichtempfindlichen Schicht zur Replikation des Hologramms.

**[0104]** Transmissionshologramme sind transmissive Hologramme, wobei das Licht einer Lichtquelle durchgelassen und von diesem gebeugt wird. Vorzugsweise kann eine Einfallrichtung des Referenzstrahls (vorzugsweise ein einfallender Lichtstrahl von der Lichtquelle) und das Objekt (in diesem Fall das Masterhologramm) auf derselben Seite der Verbundbahn angeordnet vorliegen. Ein einfallender Strahl durchdringt das Masterhologramm und wird in einen (ungebeugten) Referenzstrahl und einen Objektstrahl separiert. In der lichtempfindlichen Schicht der Verbundbahn überlagern sich mithin der Referenzstrahl und Objektstrahl mit gleicher Strahlrichtung, um das replizierte Hologramm zu erzeugen.

**[0105]** Bei einem Transmissionshologramm kann es bevorzugt sein die Lichtquelle derart anzuordnen, dass die Verbundbahn von einem Referenzstrahl und Objektstrahl von derselben Seite belichtet werden kann. Die Lichtquelle ist vorzugsweise derart in Bezug auf das Masterelement orientiert, dass ein Lichtstrahl zunächst das Masterelement und das Masterhologramm durchläuft, bevor er die Verbundbahn erreicht. Die Lichtquelle kann vorzugsweise so angeordnet werden, dass es von einer Seitenfläche durch ein transparentes Masterelement gelangt. Die Lichtquelle kann auch vorzugsweise so angeordnet werden, dass es durch eine obere und/oder untere Oberfläche des Masterelements auf die Verbundbahn fällt. Der einfallende Lichtstrahl wird vorzugsweise durch das Masterelement derart gebrochen, dass ein Referenzstrahl und ein Objektstrahl entstehen, wobei der Objektstrahl vorzugsweise dem Anteil des Lichtes entspricht, welcher durch das Masterhologramm gebeugt wird. Der Objektstrahl interferiert vorzugsweise mit dem ungebeugten Referenzstrahl in der Verbundbahn, um das Hologramm zu replizieren.

**[0106]** In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung können ein oder mehrere Masterelemente zur Belichtung der Verbundbahn verwendet werden, um darin ein Transmissionshologramm zu replizieren. Vorzugsweise kann das replizierte Transmissionshologramm so gestaltet sein, dass es edge-lit ist, so dass die holographische Abbildung durch Licht aus einer im Wesentlichen seitlichen Richtung rekonstruiert werden kann. Das replizierte Transmissionshologramm kann auch so konfiguriert werden, dass es von hinten beleuchtet wird, so dass die holografische Abbildung durch Licht, das im Wesentlichen von hinten nach vorne einfällt, rekonstruiert werden kann. Es kann auch bevorzugt sein, dass ein oder mehrere Masterelemente verwendet werden, um die Verbundbahn zu belichten und ein Reflexionshologramm darin zu replizieren. Ebenso kann es wün-

schenswert sein, dass das replizierte Reflexionshologramm edge-lit ist. Ein solches Hologramm kann zum Beispiel in einer Glasscheibe verwendet werden, an deren Rändern Lichtquellen verborgen angeordnet sind. Das replizierte Reflexionshologramm kann auch so konfiguriert werden, dass es von vorne beleuchtet wird. Ein solches Hologramm kann vorteilhaft eine holografische Abbildung erzeugen, wenn von der Umgebungslicht beleuchtet und relativ orthogonal auf Augenhöhe betrachtet wird. Mehrere solcher Hologramme können auch in einer Glasscheibe verwendet werden, zum Beispiel von der Art, wie sie in WO2020157312A1 offenbart ist, um eine holografische Abbildung zu erzeugen, wenn sie orthogonal betrachtet wird, indem Licht von versteckten Lichtquellen entlang eines vorbestimmten Pfades reflektiert wird. Es kann auch vorteilhaft sein, dass ein oder mehrere Masterelemente verwendet werden, um die Verbundbahn zu belichten, um ein Hologramm zu erzeugen, das sowohl ein Reflexionsals auch ein Transmissionshologramm umfasst.

**[0107]** In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung kann ein Referenzstrahl zur Belichtung der Hologramme auf eine Seitenfläche der Masterelemente gerichtet sein. In anderen bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung kann es bevorzugt sein, dass zusätzlich oder alternativ ein Referenzstrahl auf eine obere und/oder untere horizontale Fläche der Masterelemente gerichtet ist.

**[0108]** Verschiedene Techniken zur Belichtung der Verbundbahn mit den Masterelementen unter Verwendung unterschiedlicher Referenzstrahlwinkel und zur Erzeugung verschiedener Arten von Hologrammen werden in der detaillierten Beschreibung anhand der Abbildungen erläutert. Wir weisen darauf hin, dass diese Techniken gegebenenfalls miteinander und mit verschiedenen strukturellen Anordnungen der Vorrichtung kombiniert werden können. Ein wichtiger Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass vorzugsweise mehrere Arten der Belichtung in derselben Vorrichtung und im selben Durchlauf durchgeführt werden können.

**[0109]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst das Ablösungsmodul eine Ablösungswalze, die unterhalb einer Höhenposition einer Verbundbahn positioniert ist. Vorzugsweise umfasst das Ablösungsmodul einen Aktuator zum Bewegen der Ablösungswalze entlang eines Weges nach der Belichtung. Vorzugsweise umfasst dieser Weg ein Anheben des Ablösungsmoduls, so dass eine darüber liegende Verbundbahn ebenfalls angehoben wird.

**[0110]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das erste Trägermittel dazu eingerichtet, mindestens zwei, vorzugsweise min-

destens drei, noch bevorzugter mindestens vier Masterelemente zu tragen.

**[0111]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Vorrichtung auch ein Fixierungsmodul. Dies sorgt für eine noch kompaktere Vorrichtung und erhöht die Qualität des Endprodukts, da die Fixierung unmittelbar erfolgen kann, bevor optische oder mechanische Störungen die soeben belichtete Verbundbahn beeinträchtigen.

**[0112]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Vorrichtung eine Steuereinheit. Die Steuereinheit umfasst vorzugsweise einen Prozessor und einen Speicher. Der Prozessor ist vorzugsweise dazu eingerichtet, eine Auswahl und optional Anordnung der Sequenz der Masterelemente zu kontrollieren, wobei der Prozessor Sequenzdaten aus dem Speicher liest und einem Aktuator und/oder einem Benutzer signalisiert, in welcher Sequenz die Masterelemente anzuordnen sind.

**[0113]** So kann die Steuereinheit vorzugsweise dafür sorgen, dass die Masterhologramme im ersten Trägermittel nach einer vorgegebenen Reihenfolge angeordnet werden, wie z.B. einer Reihenfolge, in der größere Bauteile, welche die replizierten Hologramme in sich integrieren, auf einer parallelen Fertigungslinie bearbeitet werden.

**[0114]** Der Begriff „Steuereinheit“ bezieht sich vorzugsweise auf eine beliebige Rechereinheit mit einem Prozessor, einem Prozessorchip, einem Mikroprozessor oder einem Mikrocontroller, die eine automatische Steuerung der Komponenten der Vorrichtung ermöglicht, z. B. eine Rotationsgeschwindigkeit einer Abwicklungsrolle, Aufwicklungsrolle, Laminierungswalze, Transportrolle, die Bewegungen eines Bestückungsroboters (Pick-and-Place Robot) für die Masterelemente, einer Ausrichtungseinheit für die Masterelemente, einer Laminierungstemperatur, eines Laminierungsdrucks, einer Orientation und/oder scannender Geschwindigkeit einer Lichtquelle, einer Wellenlänge der Lichtquelle, einer Fixierungssintensität usw. Die Komponenten der Steuereinheit können konventionell oder individuell für die jeweilige Implementierung konfiguriert sein. Vorzugsweise umfasst die Steuereinheit einen Prozessor, einen Speicher und einen Computercode (Software/Firmware) zur Steuerung der Komponenten der Vorrichtung.

**[0115]** Die Steuereinheit kann auch eine programmierbare Leiterplatte, einen Mikrocontroller oder eine andere Vorrichtung zum Empfangen und Verarbeiten von Datensignalen von den Komponenten der Vorrichtung umfassen, beispielsweise von Sensoren in Bezug auf die Identität oder den Typ eines Masterelements sowie andere relevante sensorische Infor-

mationen. Die Steuereinheit umfasst vorzugsweise ferner ein computerverwendbares oder computerlesbares Medium, wie eine Festplatte, einen Direktzugriffsspeicher (RAM), einen Festwertspeicher (ROM), einen Flash-Speicher usw., auf dem eine Computersoftware oder ein Code installiert ist. Der Computercode oder die Software zur Steuerung der Komponenten des Geräts kann in einer beliebigen Programmiersprache oder einer modellbasierten Entwicklungsumgebung geschrieben werden, z. B. ohne Beschränkung in C/C++, C#, Objective-C, Java, Basic/VisualBasic, MATLAB, Python, Simulink, StateFlow, Lab View oder Assembler.

**[0116]** Der Begriff „Steuereinheit ist konfiguriert, um“ einen bestimmten Verfahrensschritt auszuführen, wie z.B. die Belichtung eines Masterelements mit einem bestimmten Winkel, indem die Geschwindigkeit eines oder mehrerer Antriebsmotore geändert wird, kann eine kundenspezifische oder standardmäßige Software umfassen, die auf der Steuereinheit installiert ist und diese Betriebsschritte initiiert und regelt.

**[0117]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung liegen in dem Speicher Belichtungsanweisungen für die Sequenz gespeichert vor. Vorzugsweise signalisiert der Prozessor einem Benutzer und/oder einem Aktuator, die Position, den Pfad und/oder die Wellenlänge einer Lichtquelle gemäß den Belichtungsanweisungen einzustellen. Vorzugsweise umfasst die Steuereinheit eine Schnittstelle für die Signalisierung der Belichtungsanweisungen an einen Benutzer.

**[0118]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Steuereinheit mit einem Sensor verbunden, wobei der Sensor vorzugsweise ein ID-Merkmal der individuellen Masterelemente oder eines Lagerungsortes der Masterelemente einliest und die ID an die Steuereinheit zur Steuerung und/oder Überwachung der sequenziellen Anordnung übermittelt.

**[0119]** Im Sinne der Erfindung bezieht sich ein „ID-Merkmal“ vorzugsweise auf das gesamte oder einen Teil des Masterhologramms selbst, oder alternativ einen QR-Code, einen Barcode, eine Zahl, ein Symbol oder ähnliches, das dauerhaft oder abnehmbar an dem Masterelement zu dessen Identifizierung angebracht werden kann. Zusätzlich oder alternativ kann sich das ID-Merkmal nicht auf dem Masterelement, sondern auf dessen Lagerungsort befinden. Vorzugsweise wird das ID-Merkmal auf einem Bereich des Masterelements angebracht, der den Weg eines zur Belichtung verwendeten Lichtstrahls nicht kreuzt. Vorzugsweise befindet sich dieser Bereich auf einer anderen Oberfläche des Masterelements als die mindestens zwei optisch zugänglichen Oberflächen.

**[0120]** Durch Steuern oder Überwachen der Identitäten der Masterelemente, die im ersten Trägermittel platziert und ausgesetzt sind, kann die Steuereinheit Fehler in der Abfolge verhindern und/oder erkennen. Vorzugsweise kann die Steuereinheit zudem einen Benutzer auf solche Fehler aufmerksam machen, sodass ein korrigierender Eingriff in den Produktionsverlauf erfolgen kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass ein Register der belichteten Hologramme erstellt und im Speicher gespeichert werden kann. Dies kann zur Qualitätskontrolle und für statistische Zwecke herangezogen werden. Die Steuereinheit kann diese Informationen auch nutzen, um festzustellen, welche Masterelemente gewartet oder ausgetauscht werden müssen. So kann z.B. in Abhängigkeit der Anzahl der Benutzungen, ggf. gewichtet durch die Intensität einer Belichtung, einen Austausch entsprechender Masterelemente vorgenommen werden, bevor eine Degradation der Masterelemente zu Qualitätsverlusten führt.

**[0121]** In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein System für die Replikation einer Mehrzahl von Hologrammen umfassend eine Vorrichtung wie oben beschrieben und eine Vielzahl von Masterelementen. Die Masterelemente umfassen einen Substratkörper und mindestens ein Masterhologramm, wobei aus der Vielzahl von Masterelementen eine Sequenz von Masterelementen in Abhängigkeit der zu replizierenden Mehrzahl von Hologrammen auswählbar ist.

**[0122]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das erste Trägermittel so gestaltet, dass darin Masterelemente unterschiedlicher Form und/oder Größe angeordnet werden können. So können beispielsweise ein oder mehrere Rahmenelemente und/oder Abstandhalter des Trägermittels verschiebbar und/oder klemmbar angeordnet sein. Das erste Trägermittel kann auch so gestaltet sein, dass es Masterelemente unterschiedlicher Dicke aufnehmen kann. Um die Oberseiten der Masterelemente auf das gleiche Niveau zu bringen, können unter einem oder mehreren Masterelementen Füllsubstratblöcke angebracht werden.

**[0123]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Substratkörper der Masterelemente gleicher Abmessungen. Vorzugsweise weisen die Substratkörper eine Quaderform auf. Die Verwendung identischer quadratischer Formen für die Masterelemente hat sich als besonders einfach für die Ausrichtung der Masterelemente im ersten Trägermittel erwiesen. Ebenso ist jedoch auch eine Verwendung unterschiedlicher Formen möglich, wobei die Formen oder Abmessungen insbesondere entlang der Folienbahn variieren. Senkrecht zur Folienbahn sind ebenfalls unterschiedliche Formen der Substrate der Masterelemente möglich, im Hin-

blick auf eine geringere Materialnutzung jedoch weniger bevorzugt.

**[0124]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weisen die Substratkörper vorzugsweise eine Höhe zwischen 1 - 10 cm, eine Länge zwischen 3 - 20 cm und eine Breite zwischen 3 - 20 cm auf.

**[0125]** Während das System grundsätzlich Masterelemente beliebiger Abmessungen umfassen kann, hat sich eine Höhe von mindestens 1 cm als bevorzugt erwiesen, da damit eine ausreichende Fläche an der Seite der Masterelemente für eine Belichtung zur Verfügung steht. Durch die bevorzugten Höhen kann zudem auf einfache Weise eine Belichtung aus verschiedenen Winkeln erfolgen, um unterschiedlichen Anforderungen an die Replikation der Hologramme zu genügen. Weiterhin gewährleisten die bevorzugten Abmaße eine ausreichende Robustheit bei kompakter Größe, um einen leichten Austausch zu ermöglichen. Die bevorzugt genannten Längen und/oder Breiten von mindestens 3 cm ermöglichen zudem eine hinreichend wirtschaftliche Nutzung der Verbundbahn, insbesondere dann, sofern zwischen den Masterelementen ein Pufferabstand vorhanden ist. Zudem eignen sich die Abmaße, um für Anwendungen wie das Banknotendruck, das zu kopierende Bild oder Muster zu erfassen. Obwohl auch Längen und/oder Breiten der Substratkörper ebenfalls nicht begrenzt sind, können bei Substratkörpern mit einer Länge und/oder Breite von bis zu 20 cm die Herstellungskosten gesenkt und eine besonders einfache Handhabbarkeit erreicht werden.

**[0126]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die mindestens zwei optisch zugänglichen Flächen der Masterelemente poliert, wobei der Poliergrad vorzugsweise mindestens P3 ist. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die optisch zugänglichen Flächen der Einkopplungselemente ebenfalls poliert, wobei der Poliergrad vorzugsweise ebenfalls mindestens P3 ist. Vorzugsweise sind die optisch zugänglichen Flächen mit einer Antireflexbeschichtung vorgesehen.

**[0127]** Wenn eine Oberfläche des Einkopplungselements über die Verbundbahn gegen eine Oberfläche des Masterelements gebracht wird, ist es vorteilhaft, dass beide Oberflächen poliert sind. Es ist zudem weiterhin bevorzugt, dass ein Keilfehler der Masterelemente und/oder der Einkopplungselemente einzeln und zueinander weitestgehend reduziert wird. Durch einen Parallelverschiebung der Einkopplungselemente in Bezug auf die Masterelemente könnte bei einem unerwünschten Keil der flächige optischen Kontakt beeinträchtigt werden.

**[0128]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Substratkörper der Masterelemente aus einem Material gebildet, welches ein optischer Kunststoff ist. Vorzugsweise ist das Material der Substratkörper aus der folgenden Gruppe ausgewählt: Polymethylmethacrylat (PMMA), Polycarbonat (PC), Cycloolefin-Polymere (COP), Cycloolefin-Copolymere (COC) und/oder ein optisches Glas ist, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe umfassend, Borosilikatglas, Quarzglas, B270, N-BK7, N-SF2, P-SF68, P-SK57Q1, P-SK58A und/oder P-BK7.

**[0129]** Vorzugsweise haben sowohl der Substratkörper als auch eine etwaige Abdeckung des Masterelements einen Brechungsindex zwischen 1,4 und 1,6.

**[0130]** Die Auswahl des Materials für den Substratkörper kann von dem gewünschten Belichtungswinkel, etwaigen Einschränkungen der Höhe und dem daraus resultierenden gewünschten Brechungsindex abhängen. Es kann zudem bevorzugt sein, dass ein Substratkörper eingefärbt ist, um beispielsweise Licht wellenlängenselektiv zu filtern, um ein Hologramm mit einer bestimmten Wellenlänge zu erzeugen. Auf diese Weise kann eine breitbandige Lichtquelle zur Belichtung verschiedener Masterhologramme verwendet werden.

**[0131]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung liegen die Masterelemente in dem ersten Trägermittel entlang einer linearen Anordnung getrennt vor. Das Trägermittel kann mithin bevorzugt einen Pufferabstand zwischen benachbarten Masterelementen bilden.

**[0132]** Vorteilhafterweise verhindert der Pufferabstand, dass eine unerwünschte Ausbreitung oder Streuung von Licht von einem Masterelement auf ein benachbartes Masterelement das replizierte Hologramm beeinträchtigt. Gleichzeitig kann der Abstand eine Handhabung der replizierten Hologramme erleichtern. Zum einen ist die Trennung der jeweiligen Hologramme einfacher möglich. Zum anderen kann auch nach einem Auseinanderschneiden ein kleiner Rand um das Hologramm frei bleiben, der einen Transport des Hologramms ohne Berührung des bildlichen Inhaltes ermöglicht. Das Risiko einer Beschädigung der fertigen replizierten Hologramme wird verringert und die Qualität erhöht.

**[0133]** Vorzugsweise werden die Masterelemente durch lichtabsorbierende Abstandshalter getrennt. Dies schützt die Masterhologramme und den darauf liegenden Teil der Verbundbahn vor Streulicht oder vor Licht, das zum Belichten eines benachbarten Masterhologramms verwendet wird. Wenn unerwünschtes Licht die falschen Bereiche der Verbundbahn erreicht, kann diese mit unerwünschten Mus-

tern belichtet werden, welche das replizierte Bild überlagern und seine Qualität verringern. Sofern ein erstes Masterelement durch Licht, das auf seine Seitenfläche gerichtet ist, belichtet wird, ohne dass eine lichtabsorbierende Barriere vorhanden ist, kann beispielsweise das Licht ein zweites Masterelement erreichen, das in einer Reihe neben dem ersten angeordnet ist. Das zweite Masterelement kann auf diese Weise aus einem ungeeigneten Winkel belichtet werden, wodurch ein unbeabsichtigtes Geisterbild auf dem betreffenden Teil der Verbundbahn entsteht. Dieses Phänomen wird als „Cross-Talk“ bezeichnet und durch Verwendung von lichtabsorbierenden Abstandshaltern besonders effektiv verhindert.

**[0134]** Durch die Integration des lichtabsorbierenden Abstandshalters in das Trägermittel können außerdem die nach außen gerichteten Seitenflächen und die Oberseite der Masterelemente optisch zugänglich gehalten werden. Weiterhin kann der Substratkörper der Masterelemente von allen Seiten vorteilhaft vollständig transparent gehalten werden. Dies ist besonders vorteilhaft, um eine Belichtung aus verschiedenen Orientierungen, beispielsweise für Transmission- oder Reflexion, ggf in Ausgestaltung als edge-lit oder back-lit, zu ermöglichen.

**[0135]** Alternativ oder zusätzlich kann es bevorzugt sein, an vertikalen Flächen der Masterelemente eine lichtabsorbierende Schicht aufzutragen. Eine lichtabsorbierende Schicht kann viel dünner sein, als ein Abstandhalter des Trägermittels. So können mehrere Masterelemente nebeneinander belichtet werden, ohne dass es zu optischen Störungen kommt, während gleichzeitig ein minimaler Pufferabstand oder ein nahezu kontinuierlicher Effekt in einem replizierten Hologramm aus mehreren Komponenten der verschiedenen Masterhologramme erhalten bleibt.

**[0136]** Dies ermöglicht vorteilhaft ein nahezu nahtlos repliziertes (Gesamt-)hologramm mit großen Abmessungen und einer hohen Bildqualität, ohne dass ein ebenso großes Masterelement verwendet werden muss. Außerdem können kleine Änderungen an einem Teil des Hologramms vorgenommen werden, ohne dass ein Austausch aller Masterelemente notwendig wäre. Ein Bereich eines zu replizierenden (Gesamt-)hologramms, welcher zwischen den Durchläufen zu ändern ist, kann zum Beispiel die (Landes-)Sprache eines Textelements betreffen, welches in einem Head-up-Display im Auto verwendet wird. Als ein weiteres Beispiel kann die nötige Anordnung oder Ausrichtung der Masterelemente auch variieren, je nachdem, ob es sich um ein Head-up-Display für ein Linkslenker- oder ein Rechtslenkerfahrzeug desselben Modells handelt. Das Verfahren und die Vorrichtung unter Ausnutzung eines Setzkastenprinzips, bei dem auf einfache Weise einzelne Masterelemente entsprechend ausgetauscht werden können, erlauben es derartige

Anpassungen zügig und kostensparend umzusetzen.

**[0137]** Eine Dicke der lichtabsorbierenden Schicht beträgt vorzugsweise bis zu 5 mm, bevorzugt bis zu 3 mm und noch bevorzugter bis zu 1 mm und/oder vorzugsweise mindestens 10 µm, bevorzugt mindestens 100 µm, besonders bevorzugt mindestens 500 µm.

**[0138]** Vorzugsweise sind die erfindungsgemäße Vorrichtung und/oder das System zur Durchführung eines Verfahrens für die Replikation einer Mehrzahl von Hologrammen konfiguriert. Das Verfahren umfasst vorzugsweise die folgenden Schritte:

- a. Bereitstellung einer Vielzahl von Masterelementen umfassend einen Substratkörper und mindestens ein Masterhologramm,
- b. Auswahl einer Sequenz von Masterelementen aus der Vielzahl von Masterelementen in Abhängigkeit der zu replizierenden Mehrzahl von Hologrammen und Anordnung der Sequenz von Masterelementen auf einem ersten Trägermittel, so dass obere Flächen der Masterelemente in einer horizontalen Ebene ausgerichtet vorliegen,
- c. Lösbare Laminierung einer lichtempfindlichen Verbundbahn auf die ausgerichteten Flächen der Masterelemente,
- d. Belichtung der Masterelemente, um die Masterhologramme in die lichtempfindliche Verbundbahn zu replizieren, und
- e. Ablösen der belichteten Verbundbahn von den Masterelementen,

wobei die Masterelemente in dem ersten Trägermittel lösbar eingebracht vorliegen, sodass eine Sequenz und/oder Zusammensetzung der Masterelemente für die Replikation der Mehrzahl von Hologrammen variierbar ist und wobei die Masterelemente in dem ersten Trägermittel derart eingebracht vorliegen, dass zwei oder mehr Flächen der Masterelemente zum Zwecke der Belichtung optisch zugänglich sind.

**[0139]** Der durchschnittliche Fachmann erkennt, dass technische Merkmale, Definitionen und Vorteile bevorzugter Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung auch für das Verfahren gelten, und umgekehrt.

**[0140]** Die Verfahrensschritte können in einer Steuereinheit programmiert vorliegen.

**[0141]** In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird eine Auswahl und optional die Anordnung der Sequenz der Masterelemente durch eine Steuereinheit kontrolliert.

**[0142]** Vorzugsweise umfasst die Steuereinheit einen Prozessor und einen Speicher. Vorzugsweise liest der Prozessor Sequenzdaten aus dem Speicher und signalisiert einem Aktuator und/oder einem Benutzer, in welcher Sequenz die Masterelemente anzuordnen sind. So kann die Steuereinheit vorzugsweise dafür sorgen, dass die Masterhologramme im ersten Trägermittel nach einer vorgegebenen Reihenfolge angeordnet werden, wie z.B. einer Reihenfolge, in der größere Bauteile, welche die replizierten Hologramme in sich integrieren, auf einer parallelen Fertigungslinie bearbeitet werden.

**[0143]** Es kann vorteilhaft sein, dass die Steuereinheit einen Aktuator anweist, das nächste Masterelement oder die nächsten n Masterelemente in der Reihenfolge näher an oder in das erste Trägermittel zu bringen, wobei n vorzugsweise die Anzahl der Masterelemente ist, die das erste Trägermittel aufnehmen kann. Der Aktuator kann vorzugsweise ein Logistik-Dolly, ein anderes Fließband, ein Drehtisch oder ein Pick-and-Place-Roboter sein, um lediglich Beispiele zu nennen. Auf diese Weise kann die Platzierung der Masterelemente in der richtigen Reihenfolge teilweise oder vollständig automatisiert werden, wobei das Risiko menschlicher Fehler verringert wird.

**[0144]** Es kann auch bevorzugt sein, dass die Steuereinheit dafür konfiguriert ist, das nächste Masterelement oder die nächsten n Masterelemente an einen Benutzer zu signalisieren. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen, z.B. visuell oder akustisch. Als Beispiel für ein visuelles Signal kann die Steuereinheit dafür konfiguriert sein, ein Licht am Aufbewahrungsort des nächsten Masterelements zu aktivieren, z.B. am entsprechenden Regal, Kasten, Rollwagen usw.

**[0145]** Vorzugsweise umfasst die Steuereinheit eine Schnittstelle für die Signalisierung der Sequenz an einen Benutzer. Der Prozessor kann also dafür konfiguriert sein Sequenzdaten aus dem Speicher zu lesen und die Schnittstelle, z.B. einen Bildschirm, anzuweisen, alle oder einen relevanten Teil der Sequenzdaten anzuzeigen. Die Sequenzdaten können vorzugsweise Informationen über Folgendes umfassen:

- die Identitäten oder Typen der zu belichtenden Masterelemente und deren Reihenfolge,
- eine Matrixanordnung der Masterelemente im ersten Trägermittel, zum Beispiel eine Zeilen- und Spaltennummer,
- eine oder mehrere Wellenlängen, mit denen das Masterelement belichtet werden soll,
- eine Lichtintensität, mit der das Masterelement belichtet werden soll,

- den Winkel, aus dem das Masterelement belichtet werden soll, und/oder die Winkelposition und den Weg der Lichtquelle,
- die Art des zu erstellenden Hologramms, zum Beispiel ein Reflexions- oder Transmissionshologramm.

[0146] Diese Liste ist weder erschöpfend noch exklusiv, sondern lediglich beispielhaft.

#### Detaillierte Beschreibung

[0147] Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Beispielen und Abbildungen näher erläutert werden, ohne auf diese beschränkt zu sein.

#### Kurzbeschreibung der Abbildungen

**Fig. 1** ist eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

**Fig. 2** ist eine schematische Darstellung einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welcher Einkopplungselemente verwendet werden.

**Fig. 3** ist eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung, in der lichtabsorbierende Abstandshalter die Masterelemente und Einkopplungselemente trennen.

**Fig. 4** ist eine schematische Draufsicht, welche einen Austausch von Masterelementen in einem ersten Trägermittel illustriert.

**Fig. 5** ist eine schematische Draufsicht auf eine Anordnung von Masterelementen in zwei Reihen in einem ersten Trägermittel.

**Fig. 6** ist eine schematische Seitenansicht einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in unterschiedlichen Stadien: A) vor einer Laminierung, B) während einer Laminierung, C) während einer Belichtung, D) nach der Belichtung, E) während einer Ablösung, F) nach einer Ablösung.

**Fig. 7** ist eine schematische Frontalansicht einer Rekonstruktion eines edge-lit Reflexionshologramms.

**Fig. 8** ist eine schematische Frontalansicht einer Rekonstruktion eines edge-lit Transmissionshologramms.

**Fig. 9** ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses zur Replikation eines edge-lit Reflexionshologramms mit Hilfe eines Einkopplungselements.

**Fig. 10** ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses zur Replikation

eines edge-lit Transmissionshologramms mit Hilfe eines Einkopplungselements.

**Fig. 11** ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses zur Replikation eines von oben belichteten Reflexionshologramms.

**Fig. 12** ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses, bei dem ein Multiplex-Hologramm repliziert wird, das sowohl ein Reflexionshologramm als auch ein edge-lit Transmissionshologramm aufweist.

**Fig. 13** ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses, bei dem ein Transmissionshologramm von unten belichtet wird.

**Fig. 14** ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses zur Replikation eines Multiplex-Hologramms umfassend ein Transmissionshologramm und ein edge-lit Reflexionshologramm.

**Fig. 15** ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses, bei dem edge-lit Transmissionshologramme gleichzeitig von beiden Seiten eines ersten Trägermittels mit zwei Reihen belichtet werden.

#### Detaillierte Beschreibung der Abbildungen

[0148] Die **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1. Der Einfachheit halber werden die Belichtung und das Ablösungsmodul nicht gezeigt. Die Figur zeigt schematisch ein erstes Trägermittel 10, welches eine lineare Anordnung von fünf Masterelementen 2 derart hält, dass die horizontalen Oberseiten dieser Elemente miteinander und mit dem ersten Trägermittel 10 bündig vorliegen. Es wird eine einfache Ausführungsform des ersten Trägermittels 10 gezeigt, welche nur zwei Endblöcke umfasst, die vorzugsweise in ihrer Position fixiert werden können, zum Beispiel durch Festklemmen aneinander oder an einer ortsfesten Oberfläche. Es kann jedoch jede beliebige Ausführungsform des ersten Trägermittels 10 verwendet werden, z.B. ein Rahmen, der entlang der Unterseite der Masterelemente verbunden ist, oder eine Anordnung von durch Stege getrennten Hohlräumen zur Aufnahme der Masterelemente 2, so dass mindestens zwei ihrer Oberflächen optisch zugänglich sind.

[0149] Vorzugsweise kann das erste Trägermittel 10 zum Beispiel ein Rahmenelement entlang einer unteren Außenkante der Masterelemente 2 umfassen, welches nicht mehr als 50 %, vorzugsweise bis zu höchstens 40%, 30%, 20 % oder 10% oder weniger der Seitenflächen der Masterelemente 2 bedeckt. Solche Seitenflächen werden im Sinne der Erfindung vorzugsweise als optisch zugängliche Flächen betrachtet. In der **Fig. 1** haben die Masterelemente

2 mindestens drei optisch zugängliche Flächen. F1 und F2 sind optisch zugängliche Seitenflächen. F3 ist eine obere Fläche und wird nur von der Verbundbahn 3 verdeckt. Die Verbundbahn 3 ist jedoch kein lichtabsorbierendes Material, sodass die obere Fläche F3 als optisch zugänglich gelten kann. Die Belichtung des Masterhologramms 6 in den Masterelementen 2 kann durch das Richten von Licht auf eine oder mehrerer dieser optisch zugänglichen Flächen erfolgen. Eine nicht beschriftete Unterseite der Masterelemente 2 kann ebenfalls optisch zugänglich sein, insbesondere sofern ein erstes Trägermittel 10 mit entsprechender Rahmenstruktur gewählt wird. Die Bandbreite der Winkel, aus denen die Belichtung erfolgen kann, ist mithin sehr groß und für verschiedenste Belichtungsanordnungen geeignet

**[0150]** Die Verbundbahn 3 ist über die Oberseite der Masterelemente 2 und des ersten Trägermittels 10 ausgestreckt. Diese Anordnung ergibt sich durch das Laminieren der Verbundbahn 3 auf die bündige Oberfläche mit Hilfe des Laminiermoduls. In diesem Fall umfasst das Laminiermodul die Laminierungswalze 7. Diese kann beispielsweise von der rechten Seite der Figur auf die Verbundbahn 3 herab fahren, auf die bündige Oberfläche drücken und in einer relativen Bewegung zu der links in **Fig. 1** gezeigten Position rollen (vgl. auch **Fig. 6 A-F**). Um optische Störungen während der Belichtung zu vermeiden, ist es bevorzugt, dass das erste Trägermittel 10 und die Laminierungswalze 7 entweder ein lichtabsorbierendes Material umfassen oder mit einer Absorberschicht 5 beschichtet sind.

**[0151]** Die **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1. Die Struktur der Ausführungsform ist analog zu der der in **Fig. 1** illustrierten Ausführungsform mit dem Hauptunterschied, dass die Einkopplungselemente 8 in einer linearen Anordnung über den Masterelementen 2 vorhanden sind.

**[0152]** Obwohl die Einkopplungselemente 8 manuell auf den Masterelementen 2 platziert werden können, ist es vorzuziehen, dass sie von einem zweiten Trägermittel (nicht gezeigt) wie beispielsweise einem Rahmen getragen werden. Dies ermöglicht eine präzise und wiederholbare Platzierung der Einkopplungselemente 8. In der gezeigten Ausführungsform sind alle Einkopplungselemente 8 gleich groß und gleich geformt, ebenso wie alle Masterelemente 2. Die Größe und Form der Einkopplungselemente 8 ist ebenfalls gleich der der Masterelemente 2. Jedes Einkopplungselement 8 entspricht einem einzelnen Masterelement 2 und wird direkt darüber platziert, so dass die Seitenflächen eines Einkopplungselements 8 mit den Seitenflächen des entsprechenden Masterelements 2 bündig sind.

**[0153]** Es ist weiterhin bevorzugt, dass mindestens zwei Oberflächen jedes Einkopplungselements 8 optisch zugänglich sind. In dieser Ausführungsform ist das Einkopplungselement 8 zumindest von seinen Seitenflächen F4 und F5 sowie einer oberen Fläche (ohne Bezugszeichen) aus optisch zugänglich. Die Einkopplungselemente 8 umfassen einen transparenten Block aus einem vorzugsweise identischen Material wie der Substratkörper 14 der Masterelemente 2.

**[0154]** **Fig. 3** zeigt eine weitere bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1. Der Aufbau der Vorrichtung 1 ist analog zu der von **Fig. 2**. Der Hauptunterschied besteht in der Verwendung von lichtabsorbierenden Abstandshaltern 4 zwischen den Masterelementen 2. Diese sind in der Figur schwarz dargestellt. Obwohl ihre Oberseite nicht sichtbar ist, ist die Oberseite bündig mit der des ersten Trägermittels 10 und der Masterelemente 2. Ebenfalls in **Fig. 3** zu sehen ist eine Reihe von lichtabsorbierenden Abstandshaltern 4, welche die Einkopplungselemente 8 voneinander trennen, so dass eine untere Fläche des Abstandshalters 4 mit einer unteren Fläche der Einkopplungselemente 8 bündig ist. Es ist bevorzugt, dass die Abstandhalter 4 zwischen den inneren Seitenflächen der Masterelemente 2 und der Einkopplungselemente 8 und in Kontakt mit diesen angeordnet sind. Das heißt vorzugsweise, dass die Abstandhalter 4 entlang jener Fläche angeordnet sind, welche ein Masterelement 2 von einem benachbarten Masterelement 2 trennen.

**[0155]** **Fig. 4** ist eine schematische Draufsicht auf ein einreihiges erstes Trägermittel 10, das vier Masterelemente A - D umfasst. Die Figur illustriert, auf welche einfache Weise die Masterelemente 2 auf Basis des erfindungsgemäßen Setzkastenprinzips ausgetauscht werden können. Hierbei kann z.B. das Masterelement C entfernt werden, indem es z.B. horizontal verschoben wird. Das Masterelement E kann auf die gleiche Weise in die Lücke eingefügt werden, indem es zum Beispiel in die entsprechende Ausnehmung geschoben wird. Die Figur zeigt auch beispielhaft die Abmessungen der Masterelemente 2. Die Breite eines Masterelements 2 kann z.B. ca. 80 mm betragen, während die Länge z.B. ca. 100 mm betragen kann.

**[0156]** **Fig. 5** ist eine schematische Draufsicht auf ein zweireihiges erstes Trägermittel 10, welches acht Masterelemente A - H umfasst. Indem eine größere Anzahl von Masterelementen 2 der gleichen Größe wie in **Fig. 4** bereitgestellt werden können, kann der Prozess beschleunigt werden, da mehr Hologramme pro Durchgang hergestellt werden können. Die Größe des ersten Trägermittels 10 ist angepasst, um eine größere Anzahl von Masterelementen 2 in zwei Reihen unterzubringen.

**[0157]** Fig. 6 ist eine schematische Seitenansicht einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, zu unterschiedlichen Verfahrensschritten während einer Replikation der Hologramme

**[0158]** Die Fig. 6A zeigt die Positionen der verschiedenen Elemente der Vorrichtung kurz vor dem Beginn eines Laminierungsschritts. Bevor die Laminierung beginnt, werden die Masterelemente A, B, C usw. in einer linearen Anordnung im ersten Trägermittel 10 platziert. In diesem Fall umfasst der Trägermittel 10 nur eine einzige Reihe. Die Anzahl der Masterelemente 2, die in der einzelnen Reihe angeordnet sind, und ihre Länge bestimmen die Wiederholungslänge oder „Repeat-Länge“ 20.

**[0159]** Die Pfeile auf der Laminierwalze 7 in der Fig. 6A zeigen an, dass sich die Laminierwalze 7 vertikal (oben/unten) bewegt. Um einen Fluss der Verbundbahn 3 zwischen den Durchläufen zu ermöglichen, befindet sich die Laminierwalze 7 vorteilhafterweise in einer ersten Position oberhalb des ersten Trägermittels 10 und oberhalb der Verbundbahn 3, so dass keine Reibung zwischen der Laminierwalze 7 und der Verbundbahn 3 die Bewegung der Verbundbahn behindert. Es ist auch bevorzugt, dass die Laminierwalze 7 während des Flusses der Verbundbahn 3 seitlich so positioniert ist, dass sie sich außerhalb des Raums zwischen den Einkopplungselementen 8 und den Masterelementen 2 befindet. Dies ermöglicht eine freie vertikale Bewegung der Einkopplungselemente 8 in dem Raum zwischen ihnen und den Masterelementen.

**[0160]** Zu Beginn des Laminiervorgangs wird die Laminierwalze 7 auf eine zweiten Höhe gesenkt, so dass sie die Ebene der ausgerichteten horizontalen Oberflächen der Masterelemente 2 erreicht.

**[0161]** Wie auch in Fig. 6A gezeigt, umfassen die Einkopplungselemente 8 in dieser Ausführungsform einen unteren Einkopplungsabschnitt 9. Der Einkopplungsabschnitt 9 besteht - im Gegensatz zum Hauptkörper des Einkopplungselements 8, der starr ist - aus einem elastischen, transparenten Material wie z.B. Silikon.

**[0162]** Fig. 6B zeigt die Positionen der verschiedenen Elemente der Vorrichtung 1 während des Laminierungsprozesses. Die Laminierungswalze 7, welche die Verbundbahn 3 zwischen sich und dem ersten Trägermittel 10 und/oder den Masterelementen 2 einschließt, rollt horizontal in einer stromaufwärtigen Richtung (in der Fig. nach links). Dies kann dazu führen, dass eine vorgelagerte Rolle der Verbundbahn 3 passiv abgerollt wird. Die Laminierung bringt die Verbundbahn 3 in optischen Kontakt mit den Oberseiten der Masterelemente 2. Während der horizontalen Bewegung der Laminierwalze 7

können die Einkopplungselemente 8, die auf einem zweiten Trägermittel (nicht abgebildet) untergebracht sind, abgesenkt werden. Vorzugsweise sind die Geschwindigkeit des Absenkens der Einkopplungselemente 8 und/oder die Geschwindigkeit des Rollens der Laminierwalze 7 aufeinander abgestimmt, um ein zügiges Aufbringen der Einkopplungselemente 8 ohne Gefahr einer gegenseitigen Behinderung zu gewährleisten.

**[0163]** Fig. 6C zeigt die Positionen verschiedener Elemente der Vorrichtung während der Belichtung. Die Einkopplungselemente 8 werden so weit abgesenkt, dass die Einkopplungsabschnitte 9 in Kontakt mit der Verbundbahn 3 kommen und elastisch gegen die Oberseite der Masterelemente 2 gedrückt werden. Die Einkopplungsabschnitte 9 sorgen auf diese Weise für einen besonders homogenen und lückenlosen optischen Kontakt zwischen den Masterelementen 2, der Verbundbahn 3 und den Einkopplungselementen 8. Das Belichtungsmodul ist in dieser Figur nicht dargestellt, kann aber auf verschiedene Weise ausgestaltet sein, einschließlich einer oder mehrerer Lichtquellen, Spiegel, Linsen, Farbfiltern, Achsen, und Motoren.

**[0164]** Fig. 6D zeigt die Positionen verschiedener Elemente der bevorzugten Vorrichtung nach dem Belichtungsvorgang. Die Einkopplungselemente 8 beginnen zurück auf ihre erste Höhe angehoben zu werden. Gleichzeitig beginnt die Laminierwalze 7 horizontal stromabwärts zu rollen. Fig. 10 zeigt die Einkopplungselemente 8 und die Laminierwalze 7 in Zwischenpositionen, während sie nach der Belichtung bewegt werden.

**[0165]** Die Fig. 6E zeigt die Vorrichtung 1 während eines Ablöseschritts, bei dem die Verbundbahn 3 von der Oberseite der Masterelemente 2 gelöst wird. Dazu wird die Laminierwalze 7 horizontal nach rechts bewegt. Vorzugsweise kann eine Ablösungswalze, die sich vor den Masterelementen 2 befindet (nicht abgebildet), nach oben angehoben werden. Die Verbundbahn 3 ist über die Ablösungswalze angeordnet, so dass sie durch das Anheben der Ablösungswalze ebenfalls angehoben wird.

**[0166]** Fig. 6F zeigt Vorrichtung 1 nach dem Ablöseschritt. Die Einkopplungselemente 8 wurden vollständig auf ihre erste Höhe angehoben und die Verbundbahn 3 von den Masterelementen 2 gelöst. Zwischen der angehobenen Verbundbahn 3 und den Masterelementen 2 verbleibt ein ausreichender Abstand, so dass diese entfernt, ersetzt oder neu angeordnet werden können, ohne die Verbundbahn 3 zu berühren. Außerdem kann die Laminierwalze 7 in diesem Stadium wieder auf ihre erste Höhe angehoben werden. Dadurch wird die Verbundbahn 3 nicht mehr zwischen der Laminierwalze 7 und dem ersten Trägermittel 10 eingeklemmt. In diesem Sta-

dium kann die Verbundbahn 3 weiter zu späteren Arbeitsstationen des Verfahrens fließen, zum Beispiel zu einem Fixierungsmodul. Der Fluss der Verbundbahn 3 wird vorzugsweise durch eine Transportwalze bewirkt (nicht abgebildet).

**[0167]** Die folgenden Figuren veranschaulichen verschiedene beispielhafte Belichtungstechniken und Hologrammtypen, die mit dem Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 hergestellt werden können.

**[0168]** Fig. 7 ist eine schematische Frontalansicht eines edge-lit Reflexionshologramms 13. Das edge-lit Reflexionshologramm 13 befindet sich auf einem Substratkörper 14 und ist unter einer Abdeckung 21 eingeschlossen. Das Reflexionshologramm 13, der Substratkörper 14 und die Abdeckung 21 bilden ein Masterelement 2. Die Pfeile stellen Lichtstrahlen für die Rekonstruktion einer holografischen Abbildung aus dem Reflexionshologramm 13 dar. Bei der Rekonstruktion wird ein Rekonstruktionsstrahl 19 schräg nach oben auf eine Seitenfläche des Masterelements 2 gerichtet, sodass der Strahl mit einem geeigneten Winkel zu dem Reflexionshologramm 13 reflektiert wird. Der Strahl 19 wird durch den transparenten Substratkörper 14 des Masterelements 2 gebrochen. Der gebrochene Strahl durchläuft das Reflexionshologramm 13, welches sich in dem Masterelement 2 befindet und wird an einer oberen Grenzfläche der Abdeckung 21 zurück zum Reflexionshologramm 13 reflektiert. Die Referenznummer 15 zeigt schematisch die durch die Grenzfläche verursachte interne Totalreflexion. Der Winkel, in dem diese totalreflektierten Strahlen auf das Reflexionshologramm 13 treffen, ist entscheidend für dessen Rekonstruktion. Die totalreflektierten Strahlen werden durch das Reflexionshologramm 13 reflektiert, was mittels der gestrichelten Pfeile dargestellt wird. Die erzeugte holografische Abbildung ist somit im Wesentlichen orthogonal zur Oberfläche des Hologramms 13, was die Lesbarkeit erleichtert, wenn sie beispielsweise in einer senkrechten Fläche platziert wird. Die Beleuchtung wird als edge-lit bezeichnet, da der Rekonstruktionsstrahl im Wesentlichen seitlich auf das Hologramm bzw. den Substratkörper 14 trifft.

**[0169]** Ein solches Hologramm kann vorteilhafterweise in Glasscheiben verwendet werden, die von einer Seitenkante aus beleuchtet werden, so dass die Lichtquelle kompakt und verborgen bleibt. Die holografische Abbildung ist im Wesentlichen nur sichtbar, wenn die Lichtquelle wie eine LED aus dem geeigneten Winkel aktiviert wird, zum Beispiel um ein Warnsymbol auf einer Windschutzscheibe anzuzeigen.

**[0170]** Das edge-lit Reflexionshologramm 13 kann als Masterhologramm fungieren. Damit die replizier-

ten Hologramme auch holografische Abbildungen erzeugen können, die aus dem gewünschten Winkel sichtbar sind, müssen das Masterhologramm und die lichtempfindliche Verbundbahn bei der Vervielfältigung aus einem entsprechenden Winkel belichtet werden. Dies kann mit Hilfe von Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des Verfahrens geschehen, wie weiter unten erläutert.

**[0171]** Fig. 8 ist eine schematische Frontalansicht einer Rekonstruktion eines edge-lit Transmissionshologramms 16. Das edge-lit Transmissionshologramm 16 befindet sich ebenfalls auf einem Substratkörper 14 und ist unter einer Abdeckung 21 eingeschlossen. Das Transmissionshologramm 16, der Substratkörper 14 und die Abdeckung 21 bilden ein Masterelement 2. Bei der Rekonstruktion wird ein Rekonstruktionsstrahl 19 schräg nach oben auf eine Seitenfläche des Masterelements 2 gerichtet, sodass der Strahl mit einem geeigneten Winkel auf das Transmissionshologramm 16 trifft. Der Strahl 19 wird durch den transparenten Substratkörper 14 des Masterelements 2 gebrochen und trifft unter diesem Winkel auf das Transmissionshologramm 16. Beim Passieren des Transmissionshologramms 16 wird der Rekonstruktionsstrahl 19 zumindest teilweise durch das edge-lit Transmissionshologramm 16 zur Erzeugung einer holografischen Abbildung gebeugt.

**[0172]** Auch in diesem Beispiel sind die Strahlen 12 zur Bildung der holografischen Abbildung im Wesentlichen orthogonal zur Oberfläche des Hologramms. Dies kann die Betrachtung erleichtern, je nach Position des Hologramms relativ zur Augenhöhe des Benutzers. Dieses edge-lit Transmissionshologramm 16 kann auch als Masterhologramm 6 verwendet werden, um das edge-lit Transmissionshologramm 16 in eine lichtempfindliche Verbundbahn 3 zu replizieren. Um den gewünschten Rekonstruktionswinkel zu gewährleisten, müssen das Masterhologramm 6 und die Verbundbahn 3 in genau demselben Winkel belichtet werden, mit dem der Rekonstruktionsstrahl 19 das edge-lit Transmissionshologramm 16 in Fig. 8 trifft.

**[0173]** Insbesondere bei edge-lit Hologrammen, wie sie in den Beispielen von Fig. 7 und Fig. 8 dargestellt sind, kann der notwendige Winkel, in dem ein Rekonstruktionslicht auf das replizierte Hologramm treffen muss, um korrekt reflektiert und/oder gebeugt zu werden spitz sein. Die direkte Belichtung in einem solch spitzen Winkel kann auf mechanische Herausforderungen stoßen. Die Verwendung des Substratkörpers 14 erhöht die Flexibilität, mit der die Lichtquelle für die Belichtung positioniert und bewegt werden kann. Denn der Einfallswinkel des Lichts auf dem Masterhologramm 6 hängt nicht nur von der Position der Lichtquelle ab, sondern auch von

der durch den Substratkörper 14 verursachten Brechung.

**[0174]** Fig. 9 ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses zur Replikation eines edge-lit Reflexionshologramms 13 mit Hilfe eines Einkopplungselements 8. Ein Referenzstrahl 11 ist schräg nach unten auf eine Seitenfläche des Einkopplungselements 8 gerichtet, die als Block oberhalb des Masterelements 2 dargestellt ist. Der Referenzstrahl 11 wird durch das Einkopplungselement 8 gebrochen und der gebrochene Referenzstrahl 11 gelangt durch die Verbundbahn 3 zum Masterhologramm 6. Die durch das Einkopplungselement 8 verursachte Brechung trägt dazu bei, den für das edge-lit Hologramm erforderlichen spitzen Einfallswinkel zu erreichen. Das Masterhologramm 6 reflektiert den Referenzstrahl 11, so dass ein Objektstrahl 22 (in der gleichen Richtung wie der rekonstruierte Strahl 12 aus Fig. 7) vom Masterhologramm 6 durch die Verbundbahn 3 gelangt. Der Objektstrahl 22 interferiert mit dem Referenzstrahl 11 im lichtempfindlichen Material der Verbundbahn 3, um das Reflexionshologramm zu erzeugen. Diese beiden Strahlen treffen von verschiedenen Seiten auf das lichtempfindliche Material, sodass das replizierte Hologramm ein Reflexionshologramm ist. Das Bezugszeichen 17 zeigt schematisch auf die beiden interferierenden Strahlen.

**[0175]** Ein Rekonstruktionsstrahl 19 kann verwendet werden, um das Reflexionshologramm zu zeigen. Der Rekonstruktionsstrahl 19 wird von der Mikrostruktur des belichteten lichtempfindlichen Materials in Richtung der gestrichelten Linie mit dem Bezugszeichen 12 reflektiert, wie für die Fig. 7 näher erläutert.

**[0176]** Fig. 10 ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses zur Replikation eines edge-lit Transmissionshologramms 16 mit Hilfe eines Einkopplungselements 8. Ein Referenzstrahl 11 fällt auf eine Seitenfläche eines Masterelements in einer schrägen Richtung nach oben. Der Referenzstrahl 11 wird durch den Substratkörper 14 des Masterelements 2 gebrochen und der gebrochene Strahl wird durch das Masterhologramm 6 und durch die Verbundbahn 3 transmittiert. Der Referenzstrahl 11 wird durch das Masterhologramm 6 teilweise ungebeugt transmittiert und teilweise gebeugt, um einen Objektstrahl 22 zu erzeugen, der ebenfalls die Verbundbahn 3 passiert. Aufgrund des optischen Kontakts zwischen dem Einkopplungselement 8, der Verbundbahn 3 und dem Masterelement 2 gibt es im Wesentlichen keine Grenzfläche zwischen diesen Elementen, an der sich der Brechungsindex wesentlich ändert. Daher werden unerwünschte Reflexionen an den Grenzflächen, die die Belichtung stören könnten, vermieden. Dieser optische Kontakt wird auch durch das Aufaminieren der Verbundbahn 3

auf das Masterelement 2, die optionale Verwendung von optischen Flüssigkeiten und durch die geeignete Auswahl von Materialien mit ähnlichen Brechungsindizes erreicht.

**[0177]** Der gebeugte Objektstrahl 22 und der ungebeugt transmittierte Referenzstrahl 11 interferieren in dem lichtempfindlichen Material der Verbundbahn 3, um das Transmissionshologramm zu einzuschreiben. Die beiden interferierenden Strahlen sind durch Bezugszeichen 17 gekennzeichnet. Die beiden Strahlen treffen mithin von der gleichen Seite bzw. unter gleicher Strahlrichtung auf das lichtempfindliche Material, um ein Transmissionshologramm in die Verbundbahn 3 zu replizieren. Ein Rekonstruktionsstrahl, der auf die Verbundbahn aus demselben Winkel wie der gebrochene Referenzstrahl 11 fällt, kann zur Rekonstruktion des Hologramms verwendet werden. Der rekonstruierte Strahl ist durch die gestrichelten Pfeile 12 schematisch gekennzeichnet.

**[0178]** Fig. 11 ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses zur Replikation eines Reflexionshologramms. Bei dieser Ausführungsform wird kein Einkopplungselement 8 verwendet. Die Oberseite des Masterelements 2 ist während der Belichtung optisch zugänglich. Ein Referenzstrahl 11 fällt schräg nach unten auf die Verbundbahn 3 und wird durch die Verbundbahn 3 und/oder Abdeckung 21 gebrochen, sodass er zum Masterhologramm 6 mit einem geeigneten Winkel transmittiert wird. Das Masterhologramm 6 reflektiert den Referenzstrahl 11 zu einem Objektstrahl 22, der die Verbundbahn in Richtung des gestrichelten Pfeils nach oben durchläuft. Da der Objektstrahl 22 und der Referenzstrahl 11 von verschiedenen Seiten bzw. unter unterschiedlicher Strahlrichtung auf das lichtempfindliche Material der Verbundbahn 3 treffen, ist das replizierte Hologramm ein Reflexionshologramm.

**[0179]** Fig. 12 ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses, bei dem ein Multiplex-Hologramm repliziert wird, das sowohl als Masterhologramm 6 sowohl ein Reflexionshologramm als auch ein edge-lit Transmissionshologramm umfasst. Das Transmissionshologramm wird auf ähnliche Weise erzeugt, wie oben für Fig. 10 erläutert. Um das Reflexionshologramm zu erzeugen, wird ein weiterer Referenzstrahl 11 schräg auf eine obere Fläche des Einkopplungselements 8 gerichtet. Dieser wird durch das Einkopplungselement 8 gebrochen und durch die Verbundbahn 3 zum Masterhologramm 6 transmittiert. Das Masterhologramm 6 reflektiert den Referenzstrahl 11, um einen Objektstrahl 22 zu erzeugen, der durch die Verbundbahn 3 nach oben transmittiert wird.

**[0180]** Die punktiert-gestrichelten Pfeile 22 zeigen die reflektierten Objektstrahlen des Reflexionsholo-

grammes, welche mit dem Referenzstrahl 11 zur Erzeugung eines Reflexionshologramms im lichtsensitiven Material der Verbundbahn 3 interferieren. Die gestrichelten Pfeile 22 nach oben zeigen hingegen die gebeugten Objektstrahle des Transmissionshologramms, welche mit dem ungebeugten Anteil des von schräg unten einfallenden Referenzstrahles 11 zur Erzeugung eines edge-lit Transmissionsholograms 16 in der Verbundbahn 3 interferieren.

**[0181]** Bei dieser Anordnung kann es vorteilhaft sein, das Transmissions- und das Reflexionshologramm getrennt zu belichten. Das Einkopplungselement 8 kann während der Belichtung des Transmissionshologramms 16 mit der Verbundbahn 3 in Kontakt gebracht werden, während es während der Belichtung des Reflexionshologramms entfernt wird. In einem solchen Fall wird der Referenzstrahl 11, der zum Schreiben des Reflexionshologramms verwendet wird, nicht durch das Einkopplungselement 8 gebrochen, wie durch die gestrichelten Pfeile 11 angedeutet. Dies kann bei der Einstellung des Winkels der Lichtquelle berücksichtigt werden, so dass das gewünschte Rekonstruktionssignal des Hologramms erzeugt werden kann.

**[0182]** Fig. 13 ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses, bei dem ein Transmissionshologramm 16 von unten belichtet wird. In diesem Beispiel ist eine der mindestens zwei optisch zugänglichen Flächen des Masterelements die untere Fläche. Die Höhe des Masterelements 2 bzw. des Substratkörpers 14 kann vorteilhaft genutzt werden, um das Licht eines Referenzstrahls 11 zu brechen und den gewünschten Treffwinkel des Lichts zu gewährleisten. Hierdurch kann eine Einkopplung durch einer polierte Unterseite erfolgen.

**[0183]** Fig. 14 ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses zur Replikation eines Multiplex-Hologramms umfassend ein Transmissionshologramm 18 und ein edge-lit Reflexionshologramm 13. Das Transmissionshologramm 16 wird in ähnlicher Weise repliziert, wie oben für Fig. 13 erläutert. Die Lichtquelle ist unterhalb des Masterelements 2 so ausgerichtet, dass ein Referenzstrahl 11 schräg nach oben gerichtet ist. Das Reflexionshologramm 13 wird durch ein edge-lit-Verfahren mit Hilfe eines Einkopplungselements 8 repliziert, wie oben für Fig. 9 erläutert. In dieser Ausführungsform sind die Winkel der Referenzstrahlen 11, die zur Erzeugung des Transmissions- und des Reflexionshologramms verwendet werden, so ausgewählt, dass das optische Signal, das durch die Rekonstruktion beider Hologramme erzeugt wird, in dieselbe Richtung verläuft, wie durch die beiden Arten von gestrichelten Pfeilen dargestellt.

**[0184]** Fig. 15 ist eine schematische Frontalansicht eines Belichtungsprozesses, bei dem zwei edge-lit

Transmissionshologramme 16 gleichzeitig von beiden Seiten eines ersten Trägermittels 10 mit zwei Reihen belichtet werden. In diesem Beispiel ist das erste Trägermittel 10 so konfiguriert, dass es zwei Reihen von Masterelementen 2 umfasst. Die beiden Reihen sind durch einen lichtabsorbierenden Abstandshalter 4 getrennt. Außerdem sind die Einkopplungselemente 8 im zweiten Trägermittel durch einen analogen lichtabsorbierenden Abstandshalter 4 getrennt. Durch die Abstandshalter 4 wird ein Puffer in der Verbundbahn 3 frei von Belichtung gehalten. Außerdem kann die Verbundbahn 3, wie in der Figur gezeigt, gleichzeitig aus zwei Richtungen belichtet werden. Dies erhöht die Geschwindigkeit des Verfahrens. In dieser beispielhaften Ausführungsform repliziert das Belichtungsverfahren ein Transmissionshologramm 16 auf beiden gezeigten Masterelementen 2 in einer Verbundbahn 3. Es ist jedoch durchaus möglich, dass jedes Masterhologramm 6 aus einem unterschiedlichen Winkel belichtet wird und/oder eine unterschiedliche Art von Hologramm erzeugt. Dank des lichtabsorbierenden Abstandshalters 4 dringt der Referenzstrahl 11, der zur Belichtung eines Masterhologramms 2 verwendet wird, nicht in das benachbarte Hologramm ein. So werden Störungen wie das „Cross-Talk“ verhindert und die Qualität der produzierten Hologramme erhöht.

#### Bezugszeichenliste

F1	Erste Seitenfläche eines Masterelements
F2	Zweite Seitenfläche eines Masterelements
F3	Obere Fläche eines Masterelements
F4	Zweite Seitenfläche eines Einkopplungselements
F5	Erste Seitenfläche eines Einkopplungselements
1	Vorrichtung
2	Masterelement
3	Verbundbahn
4	Abstandshalter
5	Absorberschicht
6	Masterhologramm
7	Laminierungswalze
8	Einkopplungselement
9	Einkopplungsabschnitt
10	Erstes Trägermittel
11	Referenzstrahl
12	Rekonstruierte Signal-/Objektwellen
13	Reflexions-Edgelit-HOE

- 14 Substratkörper
- 15 Total reflektierter Strahl
- 16 Transmissions-Edgelit-HOE
- 17 Interferenz zwischen Referenz- und  
Objektstrahl
- 18 Transmissions-HOE
- 19 Rekonstruktionsstrahl
- 20 Repeat-Länge
- 21 Abdeckung
- 22 Objektstrahl

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- WO 2016202595 A1 [0020]
- US 2007024939 A1 [0021, 0022]
- WO 2020157312 A1 [0106]

## Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) für die Replikation einer Mehrzahl von Hologrammen umfassend

- ein erstes Trägermittel (10) für eine Anordnung einer Sequenz von Masterelementen (2) aus einer Vielzahl von Masterelementen (2) in Abhängigkeit einer zu replizierenden Mehrzahl von Hologrammen, so dass obere Flächen der Masterelemente (2) in einer horizontalen Ebene ausgerichtet vorliegen,
- ein Laminierungsmodul für eine lösbare Laminierung einer lichtempfindlichen Verbundbahn (3) auf die ausgerichteten oberen Flächen der Masterelementen (2), und
- ein Belichtungsmodul für die Belichtung der Masterelemente (2), um die Masterhologramme (2) in die lichtempfindliche Verbundbahn (3) zu replizieren, und ein Ablösungsmodul für das Ablösen der belichteten Verbundbahn (3) von den Masterelementen (2) **dadurch gekennzeichnet**, dass die Masterelemente (2) in dem ersten Trägermittel (10) lösbar eingebracht vorliegen, sodass eine Sequenz und/oder Zusammensetzung der Masterelemente (2) für die Replikation der Mehrzahl von Hologrammen variierbar ist und wobei die Masterelemente (2) in dem ersten Trägermittel (10) ferner derart eingebracht vorliegen, dass zwei oder mehr Flächen der Masterelemente (2) zum Zwecke der Belichtung optisch zugänglich sind.

2. Vorrichtung (1) gemäß dem vorherigen Anspruch **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (1) ein Transportmodul für den Transport einer lichtempfindlichen Verbundbahn (3) über die Sequenz von Masterelementen (2) umfasst.

3. Vorrichtung (1) gemäß einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Masterelemente in dem ersten Trägermittel (10) entlang einer linearen Anordnung getrennt vorliegen, wobei die Masterelemente (2) vorzugsweise durch lichtabsorbierende Abstandshalter (4) getrennt werden und/oder wobei an vertikalen Flächen der Masterelemente (2) eine lichtabsorbierende Schicht (5) aufgetragen ist.

4. Vorrichtung (1) gemäß einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung ein oder mehrere optisch transparente Einkopplungselemente (8) umfasst, wobei die Einkopplungselemente (8) auf eine auf den Masterelementen laminierten Verbundbahn (3) aufbringbar sind, so dass ein Teilabschnitt der Verbundbahn (3) während der Belichtung zwischen dem einen oder mehreren Einkopplungselementen (8) und den Masterelementen (2) eingeschlossen wird.

5. Vorrichtung (1) gemäß einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**,

**net**, dass die Einkopplungselemente (8) auf einem höhenverstellbaren zweiten Trägermittel angeordnet vorliegen, wobei eine untere Fläche der Einkopplungselemente (8) vorzugsweise durch einen verformbaren transparenten Einkopplungsabschnitt (9) gebildet ist.

6. Vorrichtung (1) gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 4-5 **dadurch gekennzeichnet**, dass jedem Masterelement (2) jeweils ein Einkopplungselement (8) zugeordnet ist, wobei vorzugsweise mindestens eine untere Fläche des jeweiligen Einkopplungselementes (8) kongruent zu einer oberen Fläche (F3) der korrespondierenden Masterelementes (2) ist.

7. Vorrichtung (1) gemäß einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Trägermittel (10) dafür konfiguriert ist, Masterelemente (2) in zwei parallelen Reihen anzuordnen, wobei die Reihen der Masterelemente (2) vorzugsweise durch einen lichtabsorbierenden Abstandshalter (4) getrennt sind, wobei der Abstandshalter (4) vorzugsweise Teil des ersten Trägermittels (10) ist.

8. Vorrichtung (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche

**dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (1) eine Steuereinheit und umfasst, wobei die Steuereinheit einen Prozessor und einen Speicher umfasst, und die Steuereinheit dazu eingerichtet ist, eine Auswahl und optional Anordnung der Sequenz der Masterelemente (2) zu kontrollieren, wobei der Prozessor Sequenzdaten aus dem Speicher liest und einem Aktuator und/oder einem Benutzer signalisiert, in welcher Sequenz die Masterelemente (2) anzuordnen sind.

9. Vorrichtung (1) gemäß dem vorherigen Anspruch **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Speicher Belichtungsanweisungen für die Sequenz gespeichert vorliegen, wobei der Prozessor einem Benutzer und/oder einem Aktuator signalisiert, die Position, den Pfad und/oder die Wellenlänge einer Lichtquelle gemäß den Belichtungsanweisungen einzustellen.

10. Vorrichtung (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche 8 oder 9 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit mit einem Sensor verbunden ist, wobei der Sensor ein ID-Merkmal der individuellen Masterelemente (2) oder eines Lagerungsortes der Masterelemente einliest und die ID an die Steuereinheit zur Steuerung und/oder Überwachung der sequenziellen Anordnung übermittelt.

11. System für die Replikation einer Mehrzahl von Hologrammen umfassend eine Vorrichtung (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche und eine

Vielzahl von Masterelementen (2) umfassend einen Substratkörper (14) und mindestens ein Masterhologramm (6), wobei aus der Vielzahl von Masterelementen (2) eine Sequenz von Masterelementen (2) in Abhängigkeit der zu replizierenden Mehrzahl von Hologrammen auswählbar ist.

12. System gemäß Anspruch 11 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substratkörper (14) der Masterelemente (2) gleicher Abmessungen sind, und vorzugsweise eine Quaderform aufweisen, wobei die Substratkörper (14) vorzugsweise eine Höhe zwischen 1 - 10 cm, eine Länge zwischen 3 - 20 cm und eine Breite zwischen 3 - 20 cm umfassen.

13. System gemäß einem der Ansprüche 11-12 **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei optisch zugänglichen Flächen der Masterelemente (2) poliert sind, wobei der Poliergrad vorzugsweise mindestens P3 ist, wobei die optisch zugänglichen Flächen vorzugsweise eine Antireflexbeschichtung aufweisen.

14. System gemäß einem der Ansprüche 11-13 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substratkörper (14) der Masterelemente (2) aus einem Material gebildet werden, welches ein optischer Kunststoff ist, vorzugsweise ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend Polymethylmethacrylat (PMMA), Polycarbonat (PC), Cycloolefin-Polymere (COP), Cycloolefin-Copolymere (COC) und/oder ein optisches Glas ist, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe umfassend, Borosilikatglas, Quarzglas, B270, N-BK7, N-SF2, P-SF68, P-SK57Q1, P-SK58A und/oder P-BK7.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

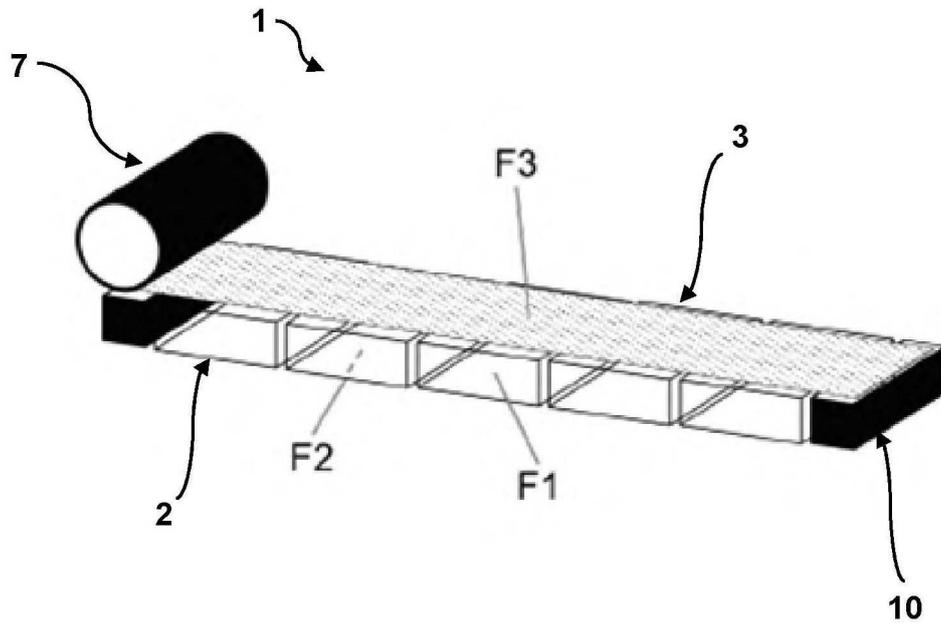


FIG. 1

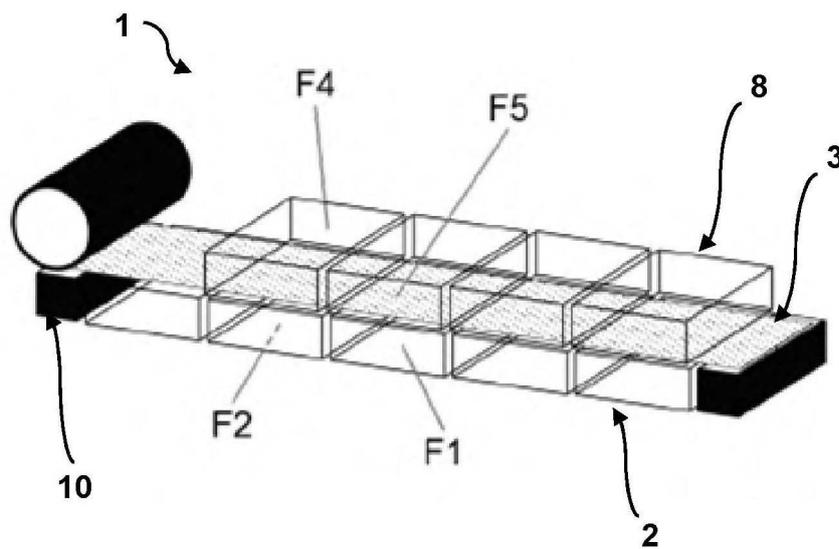


FIG. 2

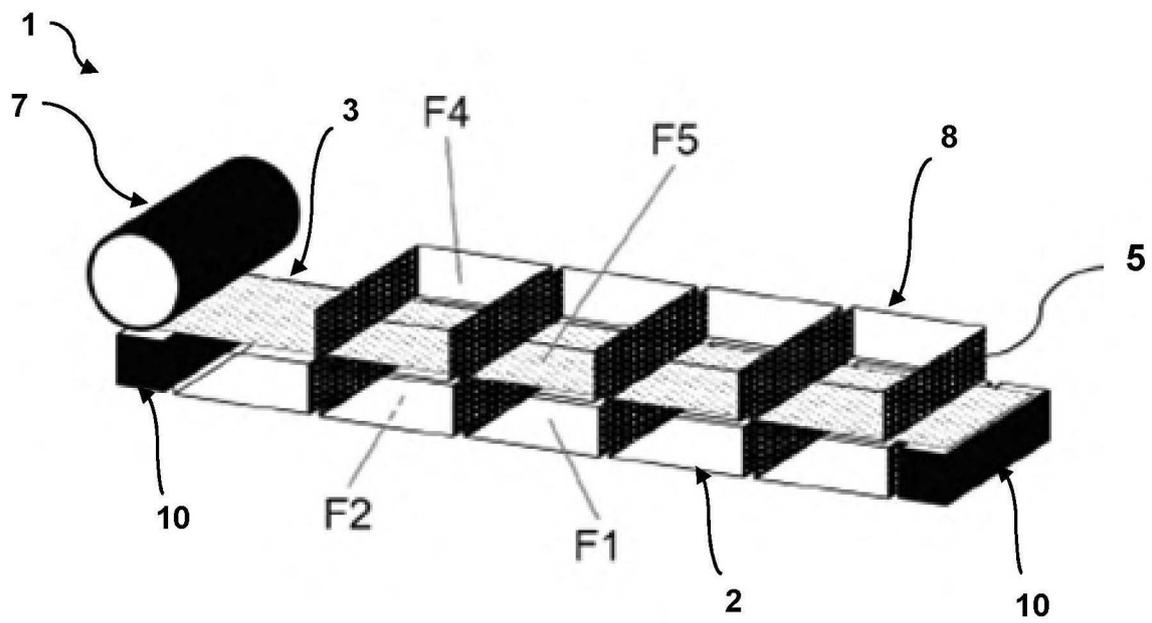


FIG. 3

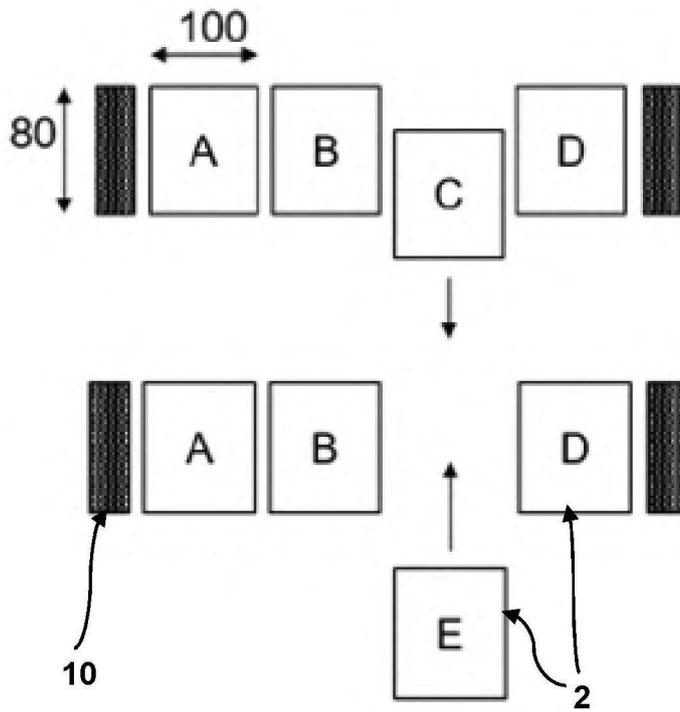


FIG. 4

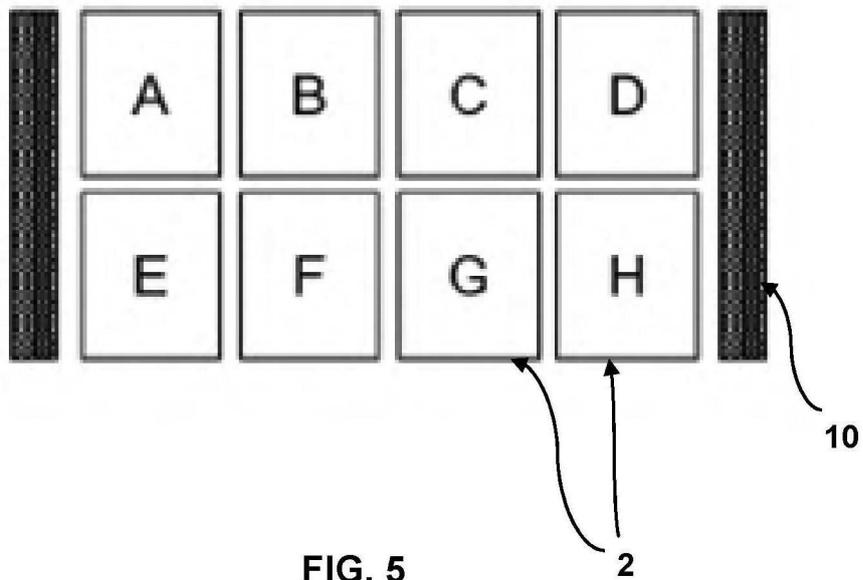


FIG. 5

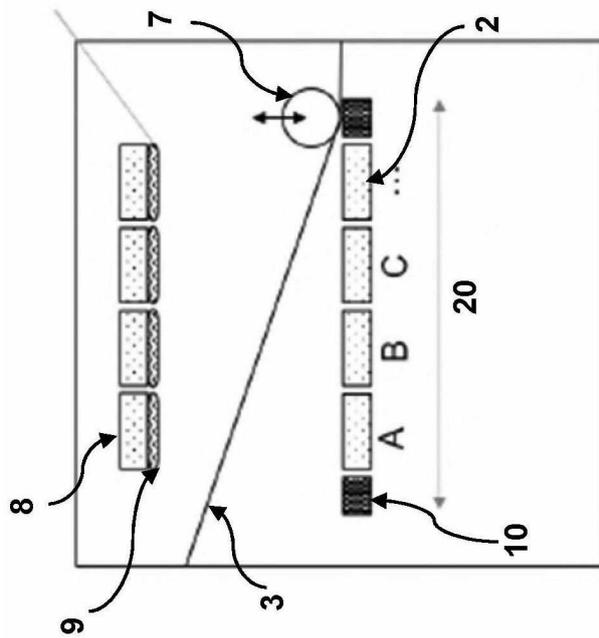


FIG. 6A

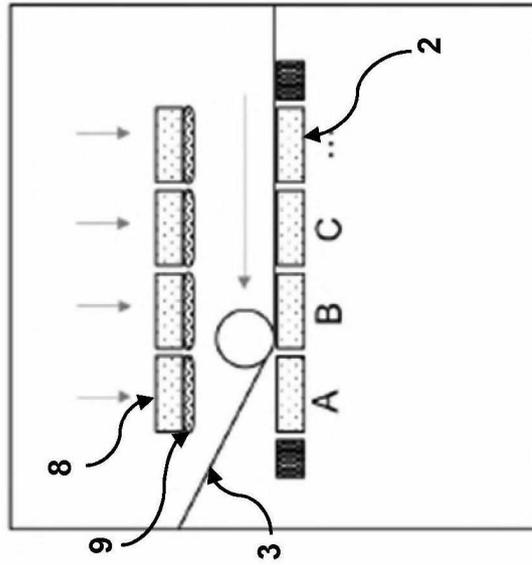


FIG. 6B

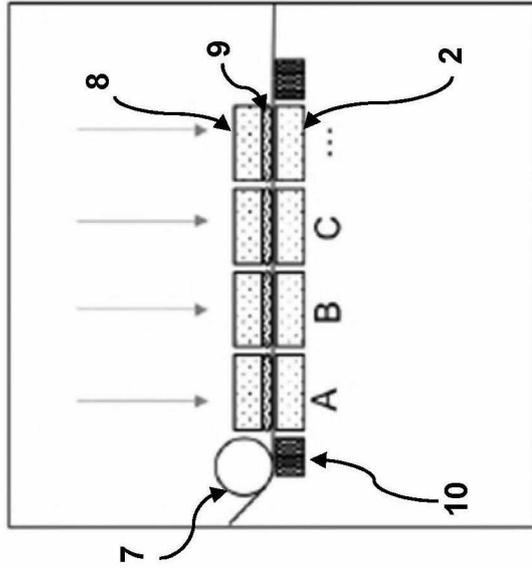


FIG. 6C

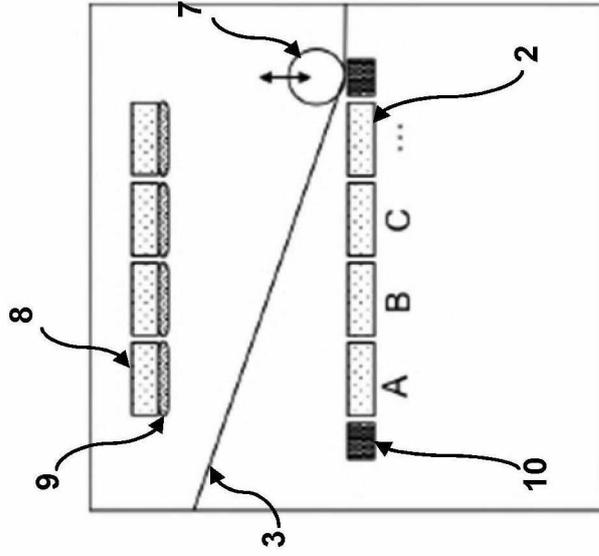


FIG. 6D

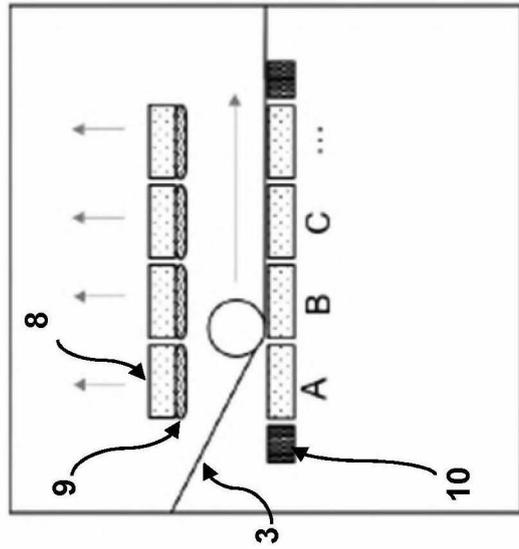


FIG. 6E

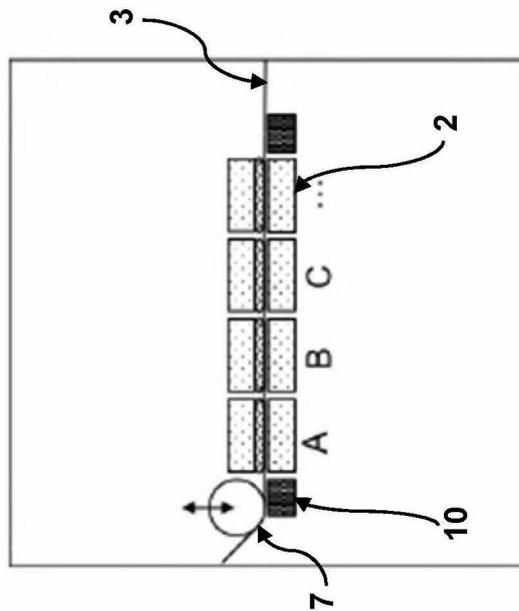


FIG. 6F

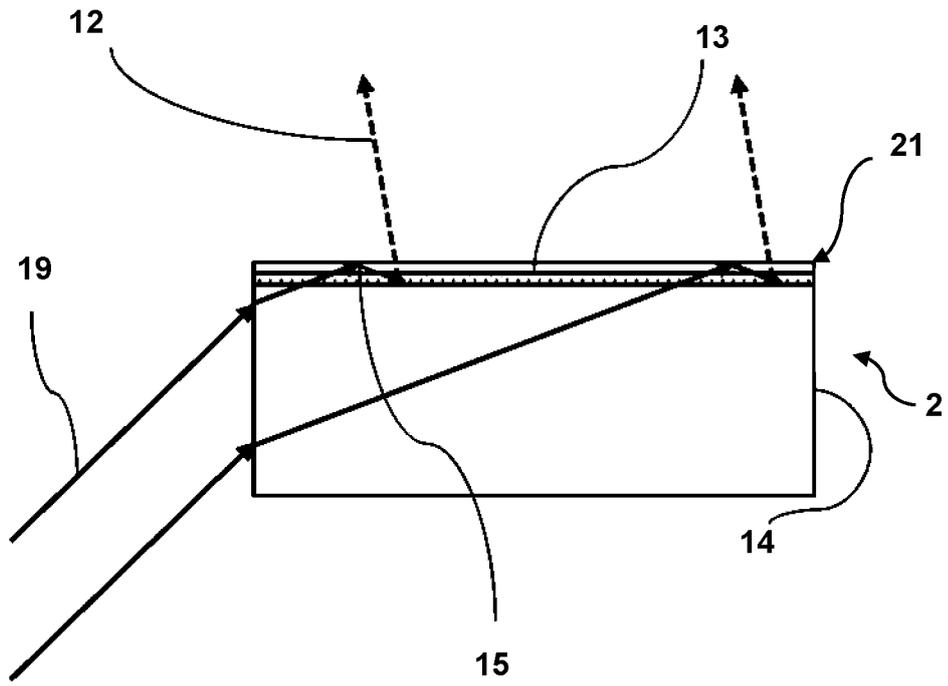


FIG. 7

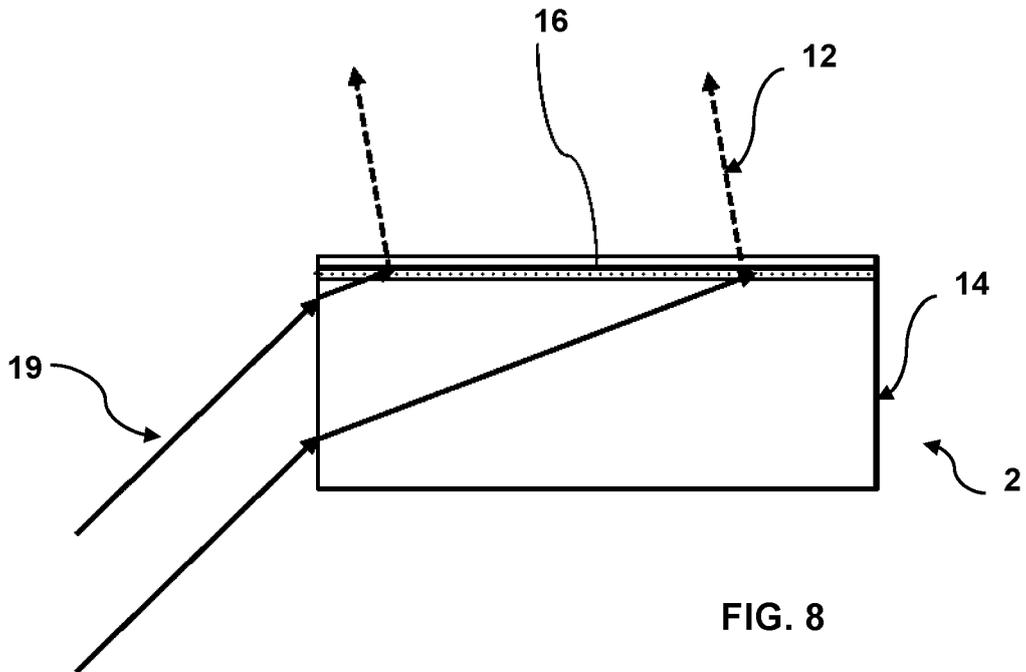


FIG. 8

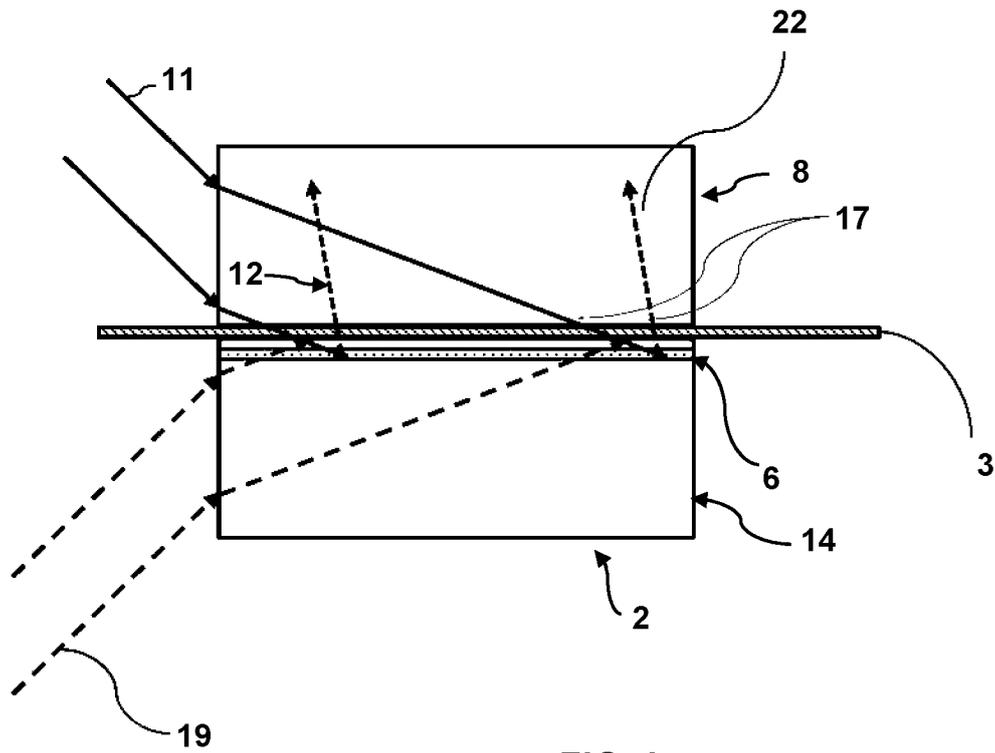


FIG. 9

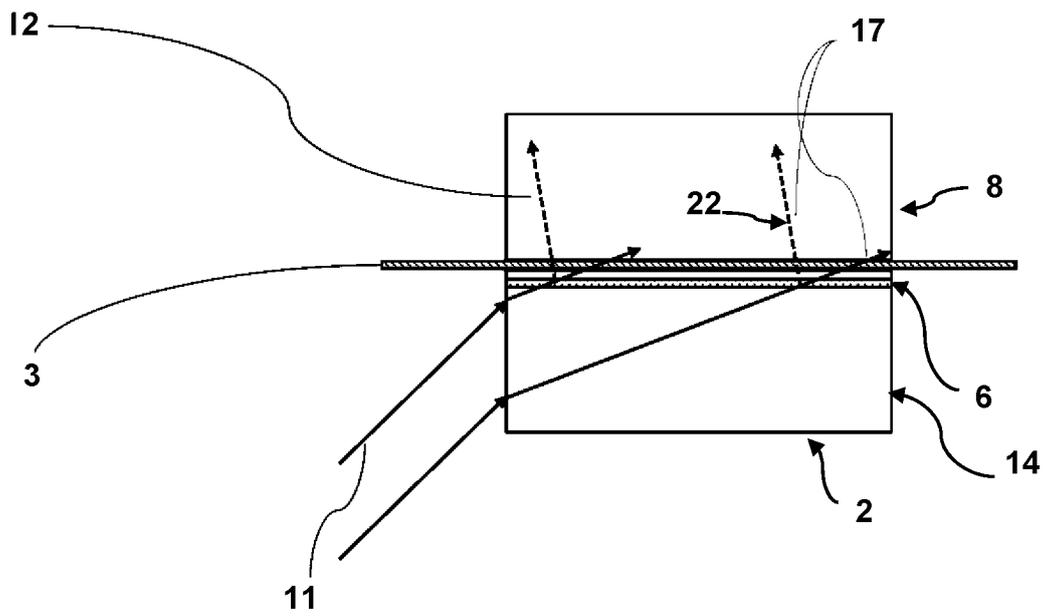


FIG. 10

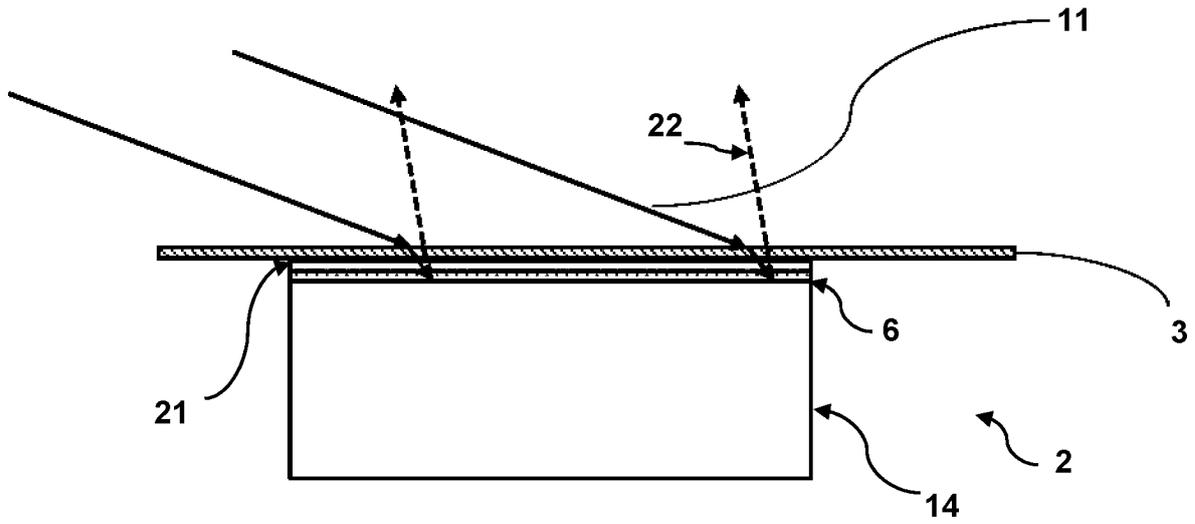


FIG. 11

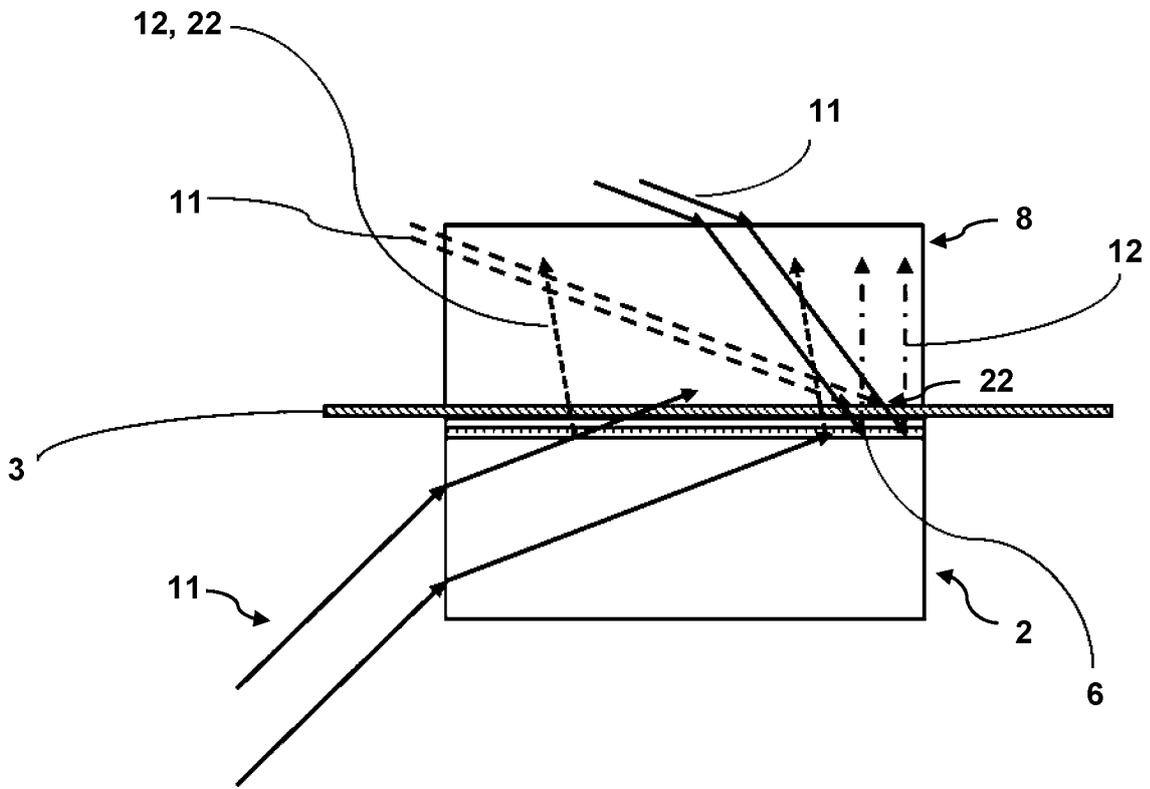


FIG. 12

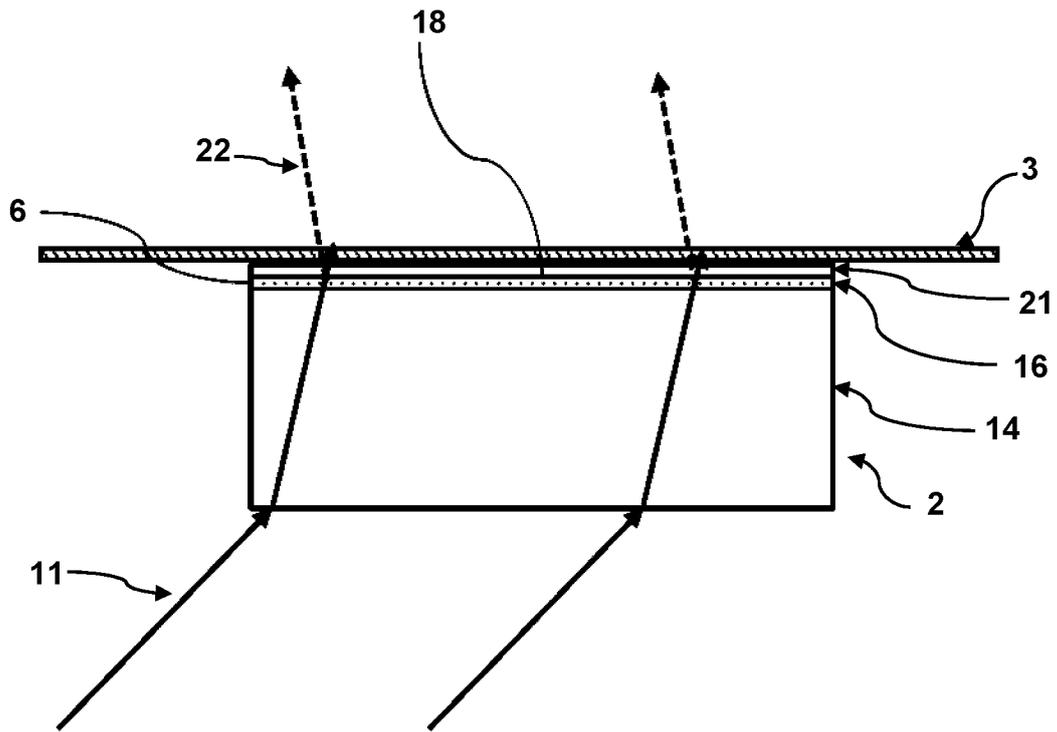


FIG. 13

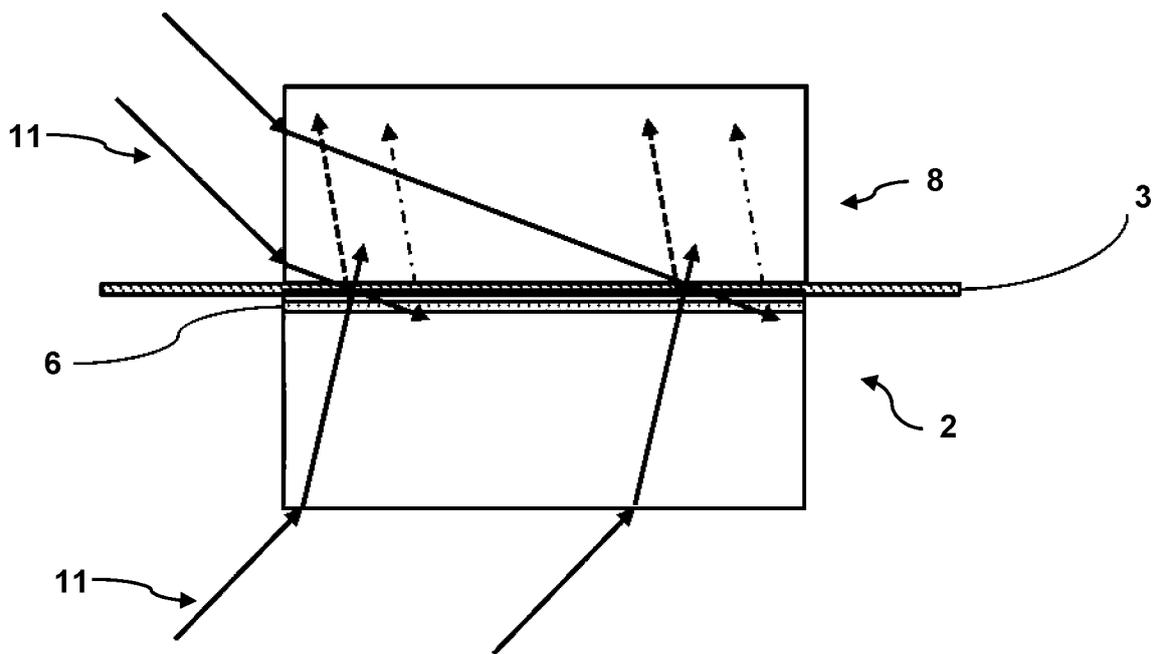


FIG. 14

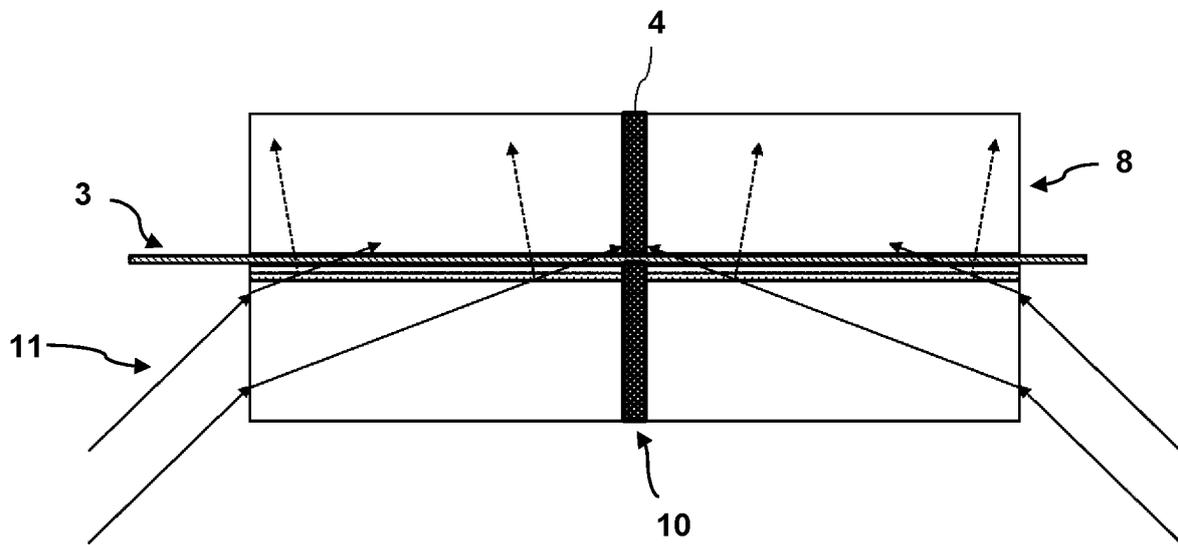


FIG. 15