

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Dezember 2024 (19.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/256498 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 27/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/066289

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. Juni 2024 (12.06.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 115 518.0
14. Juni 2023 (14.06.2023) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS AG** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE). **PRINTOPTIX GMBH** [DE/DE]; Johannesstraße 11, 70176 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **SCHMIDT, Soeren**; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **THIELE, Simon**; c/o Printoptix GmbH, Nobelstraße 15, 70569 Stuttgart (DE). **HANFT, Marco**; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **HERKOMMER, Alois**; c/o Universität Stuttgart, Institut für Technische Optik, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart (DE). **DECKER, Manuel**; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **ASLANI, Valse**; c/o Universität Stuttgart, Institut für Technische Optik, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart (DE).

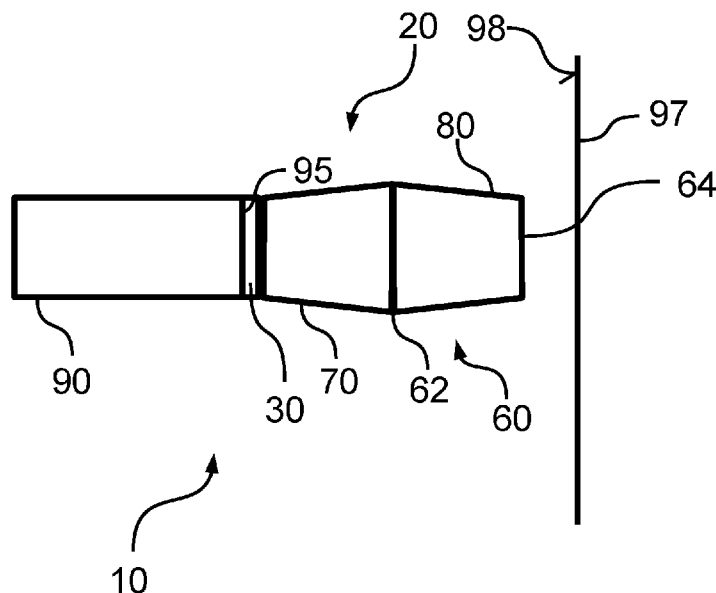
(74) Anwalt: **WENZEL NEMETZADE WARTHMÜLLER PATENTANWÄLTE PART MBB**; Maximilianstraße 2, 80539 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

(54) Title: OPTICAL DEVICE FOR PROJECTING A PATTERN ONTO A SURFACE

(54) Bezeichnung: OPTIKVORRICHTUNG ZUM PROJIZIEREN EINES MUSTERS AUF EINE OBERFLÄCHE

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to an optical device (20) for projecting a pattern onto a surface (98), the optical device (20) comprising the following: a slide (30), wherein the slide (30), for generating the pattern, refracts and/or diffracts and/or reflects and/or absorbs some of the light radiated into the optical device (20), and a projection optical unit (60), wherein the projection optical unit (60) is designed to image the pattern onto the surface (98), characterised in that the slide (30) and the projection optical unit (60) are designed in a single piece.

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Optikvorrichtung (20) zum Projizieren eines Musters auf eine Oberfläche (98) vorgeschlagen, wobei die Optikvorrichtung (20) folgendes umfasst: ein Dia (30), wobei das Dia (30) zum Erzeugen des Musters einen Teil von in die Optikvorrichtung (20) gestrahltem Licht bricht und/oder beugt und/oder reflektiert und/oder absorbiert, und eine Projektionsoptik (60),



WO 2024/256498 A1

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

wobei die Projektionsoptik (60) zum Abbilden des Musters auf die Oberfläche (98) ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Dia (30) und die Projektionsoptik(60) einstückig ausgebildet sind.

Optikvorrichtung zum Projizieren eines Musters auf eine Oberfläche

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Optikvorrichtung zum Projizieren eines Musters auf eine Oberfläche.

Stand der Technik

Bei schwer zugänglichen Kavitäten kann mittels eines durch Licht auf eine Oberfläche projizierten Musters die Ebenheit der Oberfläche erfasst werden. Hierzu wird z.B. durch ein Endoskop Licht auf die Oberfläche gestrahlt und das projizierte Muster optisch erfasst.

Ein Dia kann zum Erzeugen des Musters verwendet werden und eine Projektionsoptik bildet das Muster auf die Oberfläche ab.

Nachteilig an bisher bekannten derartigen Vorrichtungen bzw. Verfahren ist, dass die Projektionsoptik zu dem Dia ausgerichtet werden muss. Zudem kann die Ausrichtung bzw. das Alignment zwischen dem Dia und der Projektionsoptik sich über die Zeit ändern, wodurch sich das Muster ändert.

Offenbarung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Optikvorrichtung zum Projizieren eines Musters auf eine Oberfläche aufzuzeigen, die technisch besonders einfach ist und bei der die relative räumliche Position zwischen einem Dia der Optikvorrichtung und einer Projektionsoptik der Optikvorrichtung zuverlässig unverändert bleibt.

Diese Aufgabe wird durch eine Optikvorrichtung zum Projizieren eines Musters auf eine Oberfläche gemäß Anspruch 1 gelöst.

Insbesondere wird die Aufgabe durch eine Optikvorrichtung zum Projizieren eines Musters auf eine Oberfläche gelöst, wobei die Optikvorrichtung folgendes umfasst: ein Dia, wobei das Dia zum Erzeugen des Musters einen Teil von in die Optikvorrichtung gestrahltem Licht bricht und/oder beugt und/oder reflektiert und/oder absorbiert, und eine Projektionsoptik, wobei die Projektionsoptik zum Abbilden des Musters auf die Oberfläche ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Dia und die Projektionsoptik einstückig ausgebildet sind.

Ein Vorteil hiervon ist, dass die Optikvorrichtung technisch sehr einfach aufgebaut ist. Zudem kann sich die Ausrichtung zwischen Dia und Projektionsoptik nicht ändern, da diese einstückig und somit räumlich unveränderbar zueinander ausgebildet sind. Somit kann die Optikvorrichtung das Muster sicher unverändert und präzise projizieren. Darüber hinaus kann die Optikvorrichtung mit inkohärentem Licht verwendet werden. Hierdurch werden Speckle-Effekte vermieden. Insbesondere kann eine multimodale Lichtquelle mit großer spektraler Bandbreite zum Strahlen des Lichts in die Optikvorrichtung verwendet werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Optikvorrichtung eine örtlich variierende Intensitätsverteilung und/oder Winkelverteilung erzeugen kann. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass Falschlicht, d.h. unerwünschtes Licht, zum projizierten Muster beiträgt. Teile des Lichts, die nicht zum projizierten Muster beitragen sollen, können durch Brechung, Beugung, Reflektion und/oder Absorption daran gehindert werden, auf die Oberfläche, auf die das Muster projiziert werden soll, zu gelangen. Die Optikvorrichtung kann insbesondere einstückig durch ein additives Herstellungsverfahren hergestellt worden sein.

Der Erfindung liegt auch die Aufgabe zu Grunde, eine Lichtprojektionsvorrichtung aufzuzeigen, die technisch besonders einfach aufgebaut ist.

Insbesondere wird die Aufgabe durch eine Lichtprojektionsvorrichtung umfassend eine Optikvorrichtung wie oben beschrieben, und eine Lichtquelle zum Senden von Licht in die Optikvorrichtung gelöst, wobei die Optikvorrichtung derart auf der Lichtquelle angeordnet ist, dass das von der Lichtquelle abgestrahlte Licht aufgrund von Brechung und/oder Beugung und/oder Reflektion und/oder Absorption im Dia nur ein Teil des von der Lichtquelle abgestrahlten Lichts das von der Optikvorrichtung projizierte Muster bildet.

Vorteilhaft hieran ist, dass die Lichtprojektionsvorrichtung technisch besonders einfach aufgebaut ist. Zudem ist bei der Lichtprojektionsvorrichtung die Ausrichtung zwischen dem Dia und der Projektionsoptik relativ zueinander unveränderbar. Da das Licht der Lichtquelle durch das Dia gebrochen, gebeugt, reflektiert und/oder absorbiert wird, kann die Lichtquelle inkohärentes Licht in die Optikvorrichtung strahlen. Auf diese Weise werden Speckle-Effekte verhindert.

Der Erfindung liegt zudem die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zum Herstellen einer Optikvorrichtung aufzuzeigen, mittels dem eine Optikvorrichtung technisch einfach hergestellt werden kann.

Insbesondere wird die Aufgabe durch ein Verfahren zum Herstellen einer Optikvorrichtung, insbesondere wie oben beschrieben, in einem additiven Herstellungsverfahren gelöst, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: Herstellen eines Dias, wobei das Dia zum Erzeugen eines Musters auf einer Oberfläche einen Teil von in die Optikvorrichtung gestrahltem Licht bricht und/oder beugt und/oder reflektiert und/oder absorbiert, und - einer Projektionsoptik, wobei die Projektionsoptik zum Abbilden des Musters auf eine Oberfläche ausgebildet ist, wobei das Dia und die Projektionsoptik einstückig hergestellt werden.

Ein Vorteil hiervon ist, dass das Dia und die Projektionsoptik mit derselben additiven Herstellungsmethode hergestellt werden kann. Zudem ist durch diese Art der Herstellung die fixe bzw. feste Ausrichtung bzw. Positionierung der Projektionsoptik relativ zu dem Dia bzw. umgekehrt sichergestellt. Ein Verschieben, ein Montagefehler bei der Ausrichtung oder ähnliches kann nicht stattfinden. Zudem kann bei der durch dieses Verfahren hergestellten Optikvorrichtung inkohärentes (zeitlich und/oder räumlich) Licht verwendet werden. Auf diese Weise kann der Speckle-Effekt vermieden werden. Darüber hinaus kann durch die hergestellte Optikvorrichtung Falschlicht, d.h. unerwünschtes Licht, sicher davon abgehalten werden, zum projizierten Muster beizutragen oder dieses negativ zu beeinflussen (z.B. indem dunkle Bereiche des Musters von dem Falschlicht beleuchtet wird). Dies kann zum Beispiel dadurch geschehen, dass das Falschlicht innerhalb der Optik in Lichtfallen oder absorbierende Bereiche gelenkt wird. Das additive Herstellungsverfahren kann insbesondere ein 3D-Druck-Verfahren sein.

Der Erfindung liegt darüber hinaus die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zum Untersuchen einer Oberfläche aufzuzeigen, mittels dem technisch einfach und zuverlässig die Eigenschaften der Oberfläche, auch in schwer zugänglichen Bereichen, erfasst werden können.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Untersuchen einer Oberfläche gemäß Anspruch 17 gelöst.

Insbesondere wird die Aufgabe durch ein Verfahren zum Untersuchen einer Oberfläche gelöst, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: Strahlen von Licht durch eine Optikvorrichtung wie oben beschrieben oder aus einer Lichtprojektionsvorrichtung wie oben beschrieben oder durch eine Optikvorrichtung, die mittels eines Verfahrens wie oben beschrieben hergestellt wurde, zum Erzeugen eines, insbesondere zumindest teilweise regelmäßigen, Musters auf der Oberfläche; Erfassen des von der Oberfläche reflektierten Lichts; und Vergleichen des reflektierten Lichts mit einem Sollmuster, insbesondere mittels eines maschinellen Lernsystems, zum Feststellen von Eigenschaften, insbesondere Unebenheiten, der Oberfläche.

Vorteilhaft hieran ist, dass das Verfahren technisch einfach ist und inkohärentes Licht verwendet werden kann. Hierdurch kann der Speckle-Effekt vermieden werden. Zudem kann das Verfahren zuverlässig und präzise durchgeführt werden, da sich die Position der Projektionsoptik relativ zu dem Dia nicht ändern kann und sich somit die Position und/oder Form des projizierten Musters nicht (aufgrund einer Änderung der relativen Position des Dias zu der Projektionsoptik) ändern kann. Darüber hinaus ermöglicht das Verfahren besonders kompakte Geometrien, da durch die einstückige Ausführung Führungs- oder Ausrichtestrukturen entfallen.

Gemäß einer Ausführungsform der Optikvorrichtung ist das Dia derart ausgebildet, dass das Dia für auf das Dia gerichtetes Licht im Wesentlichen vollständig durchlässig ist. Vorteilhaft hieran ist, dass das gesamte Licht zum Erzeugen des Musters verwendet werden kann. Somit wird besonders wenig Licht benötigt bzw. somit kann das Muster besonders kontrastreich auf die Oberfläche projiziert werden. Auch wird hierbei kein Licht durch das Dia absorbiert. Das gesamte Licht oder Teile des Lichts können zum Erzeugen des Musters beitragen. Abgelenktes, gebrochenes und/oder gebeugtes und/oder reflektiertes Licht kann

derart das Dia verlassen, dass es nicht zum Erzeugen des Musters beiträgt. Das gesamte Licht strahlt hierbei gebrochen und/oder gebeugt und/oder reflektiert durch das Dia hindurch.

Gemäß einer Ausführungsform der Optikvorrichtung sind das Dia und die Projektionsoptik aus dem im Wesentlichen gleichen, insbesondere dielektrischen, Material ausgebildet. Vorteilhaft hieran ist, dass die Optikvorrichtung technisch noch einfacher aufgebaut ist. Zudem kann die Optikvorrichtung technisch besonders einfach hergestellt werden. Das Material kann jeweils dasselbe sein. Das Material kann bevorzugt acrylatbasiertes Fotopolymer, beispielsweise Polymethylmethacrylat (PMMA), umfassen oder sein.

Gemäß einer Ausführungsform der Optikvorrichtung ist das Dia derart ausgebildet, dass ein Teil des auf das Dia gerichteten Lichts von dem Dia derart gebrochen und/oder gebeugt und/oder reflektiert wird, dass der gebrochene und/oder gebeugte und/oder reflektierte Teil der Lichtstrahlung nicht auf die Projektionsoptik fällt. Ein Vorteil hiervon ist, dass unerwünschtes Licht von der Optikvorrichtung nicht in Richtung der Oberfläche bzw. des projizierten Musters abgestrahlt wird. Auf diese Weise kann zuverlässig verhindert werden, dass der gebrochene und/oder gebeugte und/oder reflektierte Teil des Lichts auf die Oberfläche fällt, da dieser noch nicht einmal die Projektionsoptik erreicht. Somit kann der Kontrast des Musters besonders hoch sein bzw. kann auch mit wenig Licht ein hoher Kontrast des Musters erreicht werden.

Gemäß einer Ausführungsform der Optikvorrichtung umfasst die Projektionsoptik zwei voneinander beabstandete, insbesondere asphärische, Linsen. Vorteilhaft hieran ist, dass der Fokus der Projektionsoptik bei der Herstellung besonders einfach eingestellt werden kann und die Projektion besonders zeichnungsfrei erfolgt und generell weniger Bildfehler aufweist. Die Optikvorrichtung kann mehr als zwei voneinander beabstandete, insbesondere asphärische, Linsen umfassen.

Gemäß einer Ausführungsform der Optikvorrichtung sind das Dia und die Projektionsoptik durch mehrere erste Stege, insbesondere direkt, miteinander verbunden, wobei die Stege einstückig mit dem Dia und der Projektionsoptik ausgebildet sind. Ein Vorteil hiervon ist, dass die Position des Dias relativ zu der Projektionsoptik mechanisch besonders stabil ist. Somit ist die Optikvorrichtung gegenüber mechanischen Einwirkungen sehr robust. Die Stege können das Dia und die Projektionsoptik unmittelbar bzw. direkt miteinander verbinden, d.h.

dass auf dem Verbindungspfad von dem Dia zu der Projektionsoptik keine weiteren Elemente vorhanden ist, außer den ersten Stegen.

Gemäß einer Ausführungsform der Optikvorrichtung ist das Dia derart ausgebildet, dass zumindest ein erster Bereich des Dias Licht unterschiedlicher Wellenlängen unterschiedlich bricht und/oder beugt und/oder reflektiert und/oder absorbiert. Ein Vorteil hiervon ist, dass durch Licht verschiedener Wellenlängen mittels desselben Dias unterschiedliche Muster projiziert werden können. So ist denkbar, dass mittels gelben Lichts ein erstes Muster (z.B. ein Streifenmuster mit horizontalen Streifen) projizierbar ist und mit demselben Dia mittels roten Lichts ein zweites Muster (z.B. ein Streifenmuster mit senkrechten Streifen und/oder ein Muster mit einem oder mehreren Kreisen), das sich von dem ersten Muster unterscheidet, projizierbar ist. Hierdurch kann die Oberfläche noch genauer untersucht werden.

Gemäß einer Ausführungsform der Optikvorrichtung ist das Dia derart ausgebildet, dass das projizierte Muster beim Einstrahlen von weißem Licht in die Optikvorrichtung mindestens einen Bereich mit einem Grauton aufweist. Vorteilhaft hieran ist, dass durch weißes Licht nicht nur weiße und schwarze Bereiche des Musters erzeugt werden können, sondern auch Bereiche des Musters, die einen Grauton oder unterschiedliche Grautöne aufweisen, projiziert werden können. Somit kann auch bei weißem Licht das Muster mehr als zwei Farben (wobei Schwarz und Weiß als Farben gezählt werden) aufweisen, nämlich beispielsweise Schwarz, Grau und Weiß.

Gemäß einer Ausführungsform der Lichtprojektionsvorrichtung ist die Optikvorrichtung derart auf der Lichtquelle angeordnet, dass das von der Lichtquelle ausgesandte Licht aufgrund von Brechung und/oder Beugung und/oder Reflektion und/oder Absorption im Dia nur teilweise durch die Optikvorrichtung gelangt. Vorteilhaft hieran ist, dass unerwünschtes Licht die Optikvorrichtung nicht verlässt. Hierdurch wird sichergestellt, dass dieses Licht nicht zum Muster beiträgt bzw. das Muster negativ beeinflusst. Darüber hinaus wird hierdurch erreicht, dass die Lichtprojektionsvorrichtung ein Muster projiziert, das auch bei geringem Licht einen hohen Kontrast aufweist.

Gemäß einer Ausführungsform der Lichtprojektionsvorrichtung umfasst die Lichtquelle eine, insbesondere multimodale, Glasfaser, einen Wellenleiter und/oder eine LED. Vorteilhaft

hieran ist, dass die Lichtprojektionsvorrichtung technisch besonders einfach aufgebaut und kostengünstig ist. Zudem kann die Lichtprojektionsvorrichtung besonders kompakt ausgebildet sein.

Gemäß einer Ausführungsform der Lichtprojektionsvorrichtung ist die Lichtquelle einstückig mit der Optikvorrichtung ausgebildet. Ein Vorteil hiervon ist, dass die Lichtprojektionsvorrichtung technisch einfach hergestellt werden kann. Zudem wird ein Verrutschen/Verschieben der Optikvorrichtung gegenüber der Lichtquelle und/oder Ablösen der Optikvorrichtung von der Lichtquelle sicher verhindert. Somit ist sichergestellt, dass das Licht der Lichtquelle immer in demselben Winkel in die Optikvorrichtung eingestrahlt wird.

Gemäß einer Ausführungsform der Lichtprojektionsvorrichtung ist die Lichtquelle derart ausgebildet, dass die Lichtquelle Licht auf die Optikvorrichtung in einer Kegelform, insbesondere einer Kreiskegelform, mit einem Öffnungswinkel von maximal 30° , insbesondere maximal 15° , vorzugsweise maximal 5° , abstrahlt. Hierdurch kann ein besonders detailliertes Muster projiziert werden. Somit kann die Oberfläche mittels der Lichtprojektionsvorrichtung besonders detailliert untersucht werden.

Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens zum Herstellen einer Optikvorrichtung wird die Optikvorrichtung direkt auf einer Lichtquelle zum Strahlen von Licht in die Optikvorrichtung additiv hergestellt. Vorteilhaft hieran ist, dass die Optikvorrichtung gegenüber der Lichtquelle ihre relative Position nicht verändern kann. Insbesondere wird auch ein Ablösen der Optikvorrichtung von der Lichtquelle zuverlässig verhindert. Darüber hinaus ist durch dieses Herstellungsverfahren sichergestellt, dass die Lichtquelle das Licht immer in demselben Winkel in die Optikvorrichtung einstrahlt. Zudem ist das Herstellungsverfahren technisch besonders einfach.

Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens zum Herstellen einer Optikvorrichtung wird das Dia derart hergestellt, dass nur ein Teil des in die Optikvorrichtung gestrahlten Lichts zur Projektionsoptik gelangt. Vorteilhaft hieran ist, dass zuverlässig unerwünschtes Licht nicht das projizierte Muster negativ beeinträchtigt. Dadurch, dass ein Teil des Lichts, nämlich der unerwünschte Teil, gar nicht auf die Projektionsoptik gelangt, wird das Muster sicher nicht durch diesen Teil des Lichts beeinflusst. Folglich ist ein besonders hoher Kontrast des Musters erreichbar.

Die Brechung, Beugung, Reflektion und/oder Absorption des in die Optikvorrichtung eingestrahnten Lichts durch das Dia kann beispielhaft durch folgende Maßnahmen durchgeführt werden: refraktive Ablenkung durch das Dia; Ablenkung durch interne Totalreflektion innerhalb des Dias; Erzeugung eines Punkttarrays oder Zwischenbildes mittels einer Linienstruktur des Dias, wobei das Punkttarray beabstandet zum Dia ist; Reflektion auf Grundlage einer Fabry-Perot-Resonator-Struktur; Ablenkung durch ein Gitter des Dias; Absorption durch absorbierende Materialien des Dias; und/oder Absorption durch nach dem Herstellen des Optikvorrichtung in das Dia eingebrachte Fluide, insbesondere Flüssigkeiten.

Unter einem Muster kann insbesondere eine zumindest teilweise regelmäßige Struktur verstanden werden. Das Muster umfasst typischerweise einfache geometrische Figuren bzw. Strukturen (z.B. gerade Linien, Kreise etc.). Beispielsweise kann das Muster ein Streifenmuster und/oder ein Muster mit Ellipsen und/oder Kreisen sein. Das Muster kann insbesondere aus helleren und dunkleren (d.h. schwach bis gar nicht mit dem Licht beleuchteten) Bereichen bestehen. Diese Bereiche können sich insbesondere regelmäßig abwechseln innerhalb des Musters. Das Muster muss nicht zwingend sich wiederholende Strukturen aufweisen, sondern kann beispielsweise nur eine einzige geometrische Form (z.B. einen Kreis, eine Ellipse, ein Rechteck und/oder ein Dreieck) aufweisen. Das Muster kann sich wiederholende Strukturen aufweisen (z.B. ein Streifenmuster aufweisen). Das Muster kann z.B. auch aus einer pixelierten Anordnung von Grauwerten bestehen, die zusammengesetzt ein Bild ergeben.

Die Projektionsoptik kann insbesondere eine Linse oder mehrere Linsen umfassen. Die Projektionsoptik kann das Licht fokussieren bzw. das Muster auf die Oberfläche abbilden. Der Ort des Fokus bzw. der Abbildung kann die Oberfläche des Materials, dessen Eigenschaften erfasst werden sollen, sein oder kann vor oder hinter der Oberfläche des Materials liegen.

Die Form des projizierten Musters bzw. des Musters ist bekannt bzw. kann einfach festgestellt werden. Durch Vergleich des sichtbaren Musters auf der Oberfläche und wie das Muster auf einer Solloberfläche aussehen sollte (Sollmuster) – z.B. sollte bei einer ebenen Fläche der Oberfläche, die parallel zum Dia bzw. zur einer der Linsen verläuft, das projizierte Muster genau dem Sollmuster entsprechen – können die Eigenschaften der Oberfläche

einfach bestimmt werden. Verzerrungen, Verschiebungen oder ähnliches des projizierten Musters bzw. eines Teils hiervon auf der Oberfläche erlauben Rückschlüsse bzw. Feststellungen über die Form und/oder Ausrichtung der Oberfläche. So kann das projizierte Muster bzw. Sollmuster z.B. ein Kreis sein. Wenn dieses Muster in Form eines Kreises auf der Oberfläche zu einer Ellipse verzerrt ist bzw. eine Ellipse auf der Oberfläche sichtbar ist, ist die Oberfläche gegenüber einer Parallele zum Dia bzw. zur Linse verkippt bzw. weist die Oberfläche einen Winkel ungleich Null zur Parallele zum Dia bzw. zur Linse auf.

Das Dia kann insbesondere dreidimensionale Diastrukturelemente aufweisen, durch die das Licht teilweise gebrochen und/oder gebeugt und/oder reflektiert und/oder absorbiert wird und durch die das Licht teilweise im Wesentlichen unverändert und in seiner Ausbreitungsrichtung im Wesentlichen ungeändert durchgelassen wird.

Bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen. Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Zeichnungen von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Hierbei zeigen

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Ausführungsform der Lichtprojektionsvorrichtung;

Fig. 2 eine Detailansicht einer ersten Ausführungsform des Dias der Lichtprojektionsvorrichtung aus Fig. 1;

Fig. 3 eine Detailansicht einer zweiten Ausführungsform des Dias der Lichtprojektionsvorrichtung aus Fig. 1;

Fig. 4 eine Detailansicht einer dritten Ausführungsform des Dias der Lichtprojektionsvorrichtung aus Fig. 1;

- Fig. 5 eine Detailansicht einer vierten Ausführungsform des Dias der Lichtprojektionsvorrichtung aus Fig. 1;
- Fig. 6 eine Detailansicht einer fünften Ausführungsform des Dias der Lichtprojektionsvorrichtung aus Fig. 1;
- Fig. 7 eine Detailansicht einer sechsten Ausführungsform des Dias der Lichtprojektionsvorrichtung aus Fig. 1;
- Fig. 8 eine Detailansicht einer siebten Ausführungsform des Dias der Lichtprojektionsvorrichtung aus Fig. 1;
- Fig. 9 eine Detailansicht einer achten Ausführungsform des Dias der Lichtprojektionsvorrichtung aus Fig. 1; und
- Fig. 10 eine Detailansicht einer neunten Ausführungsform des Dias der Lichtprojektionsvorrichtung aus Fig. 1.

Bei der nachfolgenden Beschreibung werden für gleiche und gleich wirkende Teile dieselben Bezugsziffern verwendet.

Fig. 1 zeigt eine schematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Ausführungsform der Lichtprojektionsvorrichtung 10.

Die Lichtprojektionsvorrichtung 10 ist zum Projizieren eines Musters auf eine Oberfläche 98 eines Materials 97 ausgebildet. Die Lichtprojektionsvorrichtung 10 umfasst eine Lichtquelle und eine Optikvorrichtung 20. Die Lichtquelle das Licht selbst erzeugen (z.B. LED) oder das Licht von einer Lichterzeugungsvorrichtung leiten und so eine Lichtquelle darstellen.

Die Lichtquelle kann eine, insbesondere multimodale, Glasfaser 90, einen Wellenleiter und/oder eine LED umfassen. Das Licht kann (zeitlich oder räumlich) inkohärentes Licht sein. Die Lichtquelle, z.B. die Glasfaser 90, kann einen geringen Durchmesser (z.B. weniger als 500 μm) aufweisen. Es ist ein breites Wellenlängenspektrum nutzbar. Hierdurch wird ein Speckle-Effekt verhindert. Beispielsweise kann die Lichtprojektionsvorrichtung 10 bzw. die Optikvorrichtung 20 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 auf bzw. in einem photonic integrated circuit (PIC) angeordnet sein bzw. ein Teil hiervon sein.

Denkbar ist, dass die Optikvorrichtung 20 mit der Lichtquelle einstückig ausgebildet ist. Somit ist die Optikvorrichtung 20 unverrückbar gegenüber der Lichtquelle.

Die Optikvorrichtung 20 umfasst ein Dia 30 und eine Projektionsoptik 60. Das Licht der Lichtquelle wird von der Lichtquelle in die Optikvorrichtung 20 eingestrahlt. Mittels des Lichts projiziert die Optikvorrichtung 20 ein Muster auf einer Oberfläche 98 eines Materials 97. Das Muster bzw. das auf der Oberfläche 98 sichtbare Muster kann optisch erfasst.

Das Dia 30 erzeugt eine örtlich variierende Intensitäts- bzw. Winkelverteilung. Hierdurch erzeugt das Dia 30 das Muster und die Projektionsoptik 60 fokussiert die Strahlen des Musters bzw. das Muster und/oder bildet das Muster auf die Oberfläche ab.

Das Dia 30 kann insbesondere kreisscheibenförmig ausgebildet sein.

Die Optikvorrichtung 20 wird bzw. ist einstückig mittels eines additiven Herstellungsverfahrens hergestellt. Das Dia 30 und die Projektionsoptik 60 werden durch dasselbe additive Herstellungsverfahren hergestellt. Dies bedeutet, dass das Dia 30 und die Projektionsoptik 60 in einem gemeinsamen bzw. einem einzigen Herstellungsverfahren bzw. Herstellungsprozess ausgebildet wurden. Hierdurch ist kein Alignment bzw. Ausrichtung des Dias 30 relativ zu der Projektionsoptik 60 notwendig nach dem Herstellen. Auch ein Verrutschen bzw. Verschieben gegeneinander ist nicht möglich. Auch der Abstand zwischen dem Dia 30 und der Projektionsoptik 60 kann sich nicht ändern. Somit kann sich die Form des Musters aufgrund einer Veränderung der Position der Projektionsoptik 60 gegenüber dem Dia 30 nicht ändern.

Die Projektionsoptik 60 kann eine oder mehrere Linsen 62, 64 umfassen. Beispielsweise weist die Projektionsoptik 60 zwei, insbesondere asphärische, Linsen 62, 64 auf. Die Projektionsoptik 60 kann sich über die gesamte Breite bzw. den gesamten Durchmesser des Dias 30 erstrecken oder eine noch größere Breite bzw. einen größeren Durchmesser als das Dia 30 aufweisen.

Das Dia 30 und die Projektionsoptik 60 bzw. die Linse 62, 64 oder Linsen 62, 64 der Projektionsoptik 60 können aus demselben bzw. dem gleichen Material, insbesondere einem dielektrischen Material, hergestellt werden bzw. bestehen. Dies vereinfacht das Herstellungsverfahren durch einen additiven Herstellungsprozess.

Das Dia 30 ist über mehrere Stege 70, 80 mit der Projektionsoptik 60 verbunden. Das Dia 30 kann über mehrere Stege 70, 80 direkt bzw. unmittelbar mit der Projektionsoptik 60 verbunden sein. Dies bedeutet, dass das Dia 30 nicht auf einem Substrat oder ähnlichem angeordnet ist, wobei das Substrat mit der Projektionsoptik 60 verbunden ist, sondern dass das Dia 30 direkt bzw. unmittelbar (ohne Umwege oder weitere Zwischenelemente) mit den Stegen 70, 80 verbunden ist und die Stege 70, 80 direkt (ohne Umwege oder weitere Zwischenelemente) mit der Projektionsoptik 60 verbunden sind.

Zwischen dem Dia 30 und einer ersten Linse 62 der Projektionsoptik 60 sind erste Stege 70 angeordnet. Zwischen der ersten Linse 62 und der zweiten Linse 64 können zweite Stege 80 angeordnet sein. Die Stege 70, 80 sind in demselben additiven Herstellungsverfahren erzeugt worden, in dem das Dia 30 und die Projektionsoptik 60 hergestellt wurden. Somit sind das Dia 30, die Projektionsoptik 60 und die Stege 70, 80 einstückig ausgebildet bzw. sind in einem additiven Herstellungsverfahren einstückig hergestellt worden. Hierdurch ist Optikvorrichtung 20 besonders robust gegenüber mechanischen Einflüssen.

Das Dia 30 weist mehrere Diastrukturelemente 32-38 auf. Die Diastrukturelemente 32-38 befinden sich auf der der Projektionsoptik 60 zugewandten Seite des Dias 30. Dies bedeutet, dass das Dia 30 auf der der Lichtquelle zugeordneten Seite flach sein kann und auf der der Projektionsoptik 60 zugeordneten Seite nicht flach ist, sondern eine unebene bzw. nicht-flache Struktur aufgrund der Diastrukturelemente 32-38 aufweist. Die Diastrukturelemente 32-38 brechen und/oder beugen und/oder reflektieren und/oder absorbieren das Licht bzw. einen Teil des Lichts und/oder lenken das Licht bzw. einen Teil des Lichts ab.

Es ist möglich, dass das Dia 30 keine absorbierenden Diastrukturelemente 32-38 aufweist. Dies bedeutet, dass kein Teil des Lichts von dem Dia 30 absorbiert wird. Das Licht wird hierbei nur gebrochen und/oder gebeugt und/oder reflektiert werden.

Das additive Herstellungsverfahren kann ein 3D-Druckverfahren, z.B. Multi Jet Fusion, Fused Layer Modelling, Freistrah-Materialauftragsverfahren, wie Poly-Jet Modelling oder Multi-Jet Modelling, Lasersintern, Laser-Strahlschmelzen, Elektronen-Strahlschmelzen, Digital-Light-Processing, Stereolithografie und/oder Zwei-Photonen-Lithographie umfassen.

Fig. 2 zeigt eine Detailansicht einer ersten Ausführungsform des Dias 30 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1. Die Diastrukturelemente 32-38 umfassen mehrere im Querschnitt dreieckige Elemente, die einen Winkel zur Ausgangsfläche 95 der Lichtquelle aufweisen und das Licht refraktiv ablenken, und mehrere im Querschnitt rechteckige Elemente, deren der Lichtquelle abgewandten Fläche parallel zu der Ausgangsfläche 95 der Lichtquelle verlaufen und die das Licht im Wesentlichen ungehindert und in seiner Ausbreitungsrichtung unverändert durchlassen. Die im Querschnitt dreieckigen Diastrukturelemente 32, 33, 35, 36 können eine Tetraederform aufweisen. Das bzw. die im Querschnitt rechteckigen Diastrukturelemente 34 kann bzw. können eine Quaderform und/oder eine Würfelform aufweisen. Das Dia 30 bzw. die der Lichtquelle zugewandte Seite des Dias 30 verläuft parallel zu der Ausgangsfläche 95 der Lichtquelle.

Von links in Fig. 2 tritt einstrahlendes Licht 50 in das Dia 30 ein. Hierdurch tritt Licht aus dem Dia 30 aus, das das Muster projiziert bzw. mittels der Projektionsoptik 60 projiziert wird (auch Nutzlicht 52, 53, 54 genannt), das durch einen horizontal nach rechts verlaufenden Pfeil im oberen Teil von Fig. 2 dargestellt ist. Zudem wird ein Teil des Lichts durch das Dia 30 abgelenkt (durch Pfeile nach rechts oben bzw. rechts unten in Fig. 2 dargestellt). Dieses abgelenkte Licht wird nicht auf die Oberfläche 98 projiziert (auch Falschlicht 55-59 genannt). Es ist möglich, dass dieses abgelenkte Licht nicht auf die Projektionsoptik 60 gelangt oder von der Projektionsoptik 60 aus, zumindest nicht direkt (d.h. zumindest nicht ohne erneute Reflektion und/oder erneute Brechung und/oder Beugung), nicht auf die Oberfläche 98 des Materials 97 gelangt.

Ein erster Teil des Lichts gelangt somit im Wesentlichen unverändert und in seiner Richtung unverändert durch das Dia 30. Dieser erste Teil des Lichts wird von der Projektionsoptik 60 zum Bilden des Musters auf der Oberfläche 98 fokussiert bzw. dieser erste Teil des Lichts wird von der Projektionsoptik 60 zum Abbilden des Musters auf die Oberfläche 98 gestrahlt. Ein zweiter Teil des Lichts wird von dem Dia 30 derart gebrochen, gebeugt, absorbiert und/oder reflektiert, dass dieser zweite Teil entweder gar nicht zur Projektionsoptik 60 gelangt oder dieser zweite Teil wird von der Projektionsoptik 60 nicht zum Bilden des Musters abgebildet und/oder fokussiert. Der zweite Teil des Lichts gelangt somit nicht auf den Bereich der Oberfläche 98 des Musters, auf den das Muster projiziert wird.

Beispielsweise kann die Lichtprojektionsvorrichtung 10 in eine Öffnung einer Vertiefung mit kleinem Durchmesser eingeführt werden, um z.B. die Oberfläche 98 des Endes der Vertiefung zu untersuchen. Hierzu wird das Muster mittels der Lichtprojektionsvorrichtung 10 auf die Oberfläche 98 des Endes der Vertiefung gestrahlt. Mit einer optischen Erfassungsvorrichtung wird das reflektierte Licht der Oberfläche 98 erfasst. Das sichtbare Muster bzw. sichtbare reflektierte Licht auf der Oberfläche 98 kann mit dem abgestrahlten Muster verglichen werden. Dies kann entweder durch einen Menschen oder durch einen Computer bzw. eine Software (z.B. ein maschinelles Lernsystem) durchgeführt werden. Auf diese Weise können die Unebenheiten der Oberfläche 98 erkannt bzw. festgestellt werden. Auch kann eine Verkippung der Oberfläche 98 gegenüber einer Parallelen zu einer Linse 62, 64 bzw. dem Dia 30 der Projektionsoptik 60 festgestellt werden.

Auf diese Weise kann technisch einfach ein Muster erzeugt werden. Die Projektionsoptik 60 fokussiert das Licht, das auf die Projektionsoptik 60 gelangt, bzw. bildet das Muster auf die Oberfläche 98 ab. Der Fokus kann auf der Oberfläche 98 des Materials 97 liegen. Denkbar ist auch, dass der Fokus zwischen der Projektionsoptik 60 und der Oberfläche 98 des Materials 97, d.h. vor der Oberfläche 98, liegt. Ebenfalls ist möglich, dass der Fokus hinter der Oberfläche 98 des Materials 97 liegt.

Die Projektionsoptik 60 ist in Fig. 2 und auch in den nachfolgenden Fig. 3-10 nicht gezeigt. Die Projektionsoptik 60 befindet sich bei den Fig. 2-10 rechts von dem gezeigten Dia 30. Die Lichtquelle befindet sich links von dem Dia 30 in den Fig. 2-10 bzw. kann sich links von dem Dia 30 in Fig. 2-10 befinden.

In den Fig. 2-10 kann jeweils nur ein Teil bzw. ein Ausschnitt des Dias 30 dargestellt sein. Dies bedeutet, dass es mehrere Bereiche geben kann, durch die das Licht im Wesentlichen unverändert durchgelassen wird und nicht nur einen Bereich, wie in den Fig. 2-10 teilweise dargestellt. Dies bedeutet auch, dass die Anzahl der Diastrukturelemente 32-38 größer, insbesondere viel größer ist, als in den Fig. 2-10 jeweils dargestellt. Die Anzahl der Diastrukturelemente 32-38 kann im Bereich von Hunderten, Tausenden, Zehntausenden, Hunderttausenden oder Millionen liegen.

Das Licht, das aus dem Dia 30 austritt und zum Muster beiträgt bzw. beitragen soll wird auch Nutzlicht 52, 53, 54 genannt. Das Licht, das aus dem Dia austritt (gebrochen, gebeugt, reflektiert) und nicht zum Muster beiträgt bzw. beitragen soll wird auch als Falschlicht 55-59 bezeichnet.

Die Diastrukturelemente 32-38 werden durch das additive Herstellungsverfahren (gemeinsam mit der Projektionsoptik 60) hergestellt. Die Diastrukturelemente 32-38 des Dias 30 erzeugen das Muster, das durch die Projektionsoptik 60 fokussiert auf die Oberfläche 98 des Materials 97 strahlt bzw. durch die Projektionsoptik 60 auf die Oberfläche 98 abgebildet wird. Das vom Dia 30 erzeugte Muster kann durch die Projektionsoptik 60 natürlich geändert werden bzw. das Muster kann durch die Projektionsoptik 60 erst entstehen.

Das auf der Oberfläche 98 des Materials 97 sichtbare Muster kann optisch erfasst werden. Durch Vergleich mit einem Sollmuster (z.B. dem projizierten Muster auf einer ebenen Fläche, die parallel zu der Ausgangsfläche 95 der Lichtquelle verläuft) mit dem optisch erfassten sichtbaren Muster auf der Oberfläche 98 können die Eigenschaften der Oberfläche 98 des Materials 97 erfasst werden. Die optische Erfassung kann z.B. mit einer endoskopischen Kamera durchgeführt werden.

Die Eigenschaften der Oberfläche 98 können insbesondere Unebenheiten bzw. Erhöhungen und/oder Vertiefungen auf der Oberfläche 98 sein. Auch ein Winkel der Oberfläche 98 zur Parallele der Ausgangsfläche 95 der Lichtquelle kann hierdurch bestimmt werden. Der Vergleich kann mittels eines Computers bzw. einer Software durchgeführt werden. Hierbei kann auch ein maschinelles Lernsystem eingesetzt werden.

Das Muster kann ein Streifenmuster und/oder einen oder mehrere Kreise und/oder einen oder mehrere Rechtecke umfassen. Das Muster kann insbesondere statisch sein.

Das Dia 30 bzw. die Diastrukturelemente 32-38 können additiv direkt bzw. unmittelbar auf der Lichtquelle bzw. der Ausgangsfläche 95 der Lichtquelle hergestellt, z.B. 3D-gedruckt, werden. Somit ist das Dia 30, die Projektionsoptik 60 und die Lichtquelle einstückig hergestellt.

Jedes Dia 30 weist eine Projektionsoptik 60 auf und umgekehrt. Dies bedeutet, dass jeder Projektionsoptik 60 genau ein Dia 30 zugeordnet ist und dass jedem Dia 30 genau eine Projektionsoptik 60 zugeordnet ist. Das Dia 30 ist somit mit genau einer Projektionsoptik 60 einstückig ausgebildet und die Projektionsoptik 60 ist mit genau einem Dia 30 einstückig ausgebildet ist. Es ist möglich, dass eine Optikvorrichtung 20 genau ein Dia 30 und genau eine Projektionsoptik 60 aufweist.

Die erste Ausführungsform des Dias 30 lässt das gesamte eingestrahlte Licht durch. Es verändert nur die Richtung des Lichts teilweise.

Fig. 3 zeigt eine Detailansicht einer zweiten Ausführungsform des Dias 30 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1.

Die zweite Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform des Dias 30 dadurch, dass bei der zweiten Ausführungsform im Gegensatz zu der ersten Ausführungsform des Dias 30 dasjenige Diastrukturelement 32-38, das das Licht im Wesentlichen nicht-abgelenkt durchlässt, auf der der Ausgangsfläche 95 der Lichtquelle abgewandten Seite (in Fig. 3 rechts) beabstandet zu ablenkenden Elementen (im Querschnitt dreieckige Elemente) angeordnet ist. In der Mitte des Dias 30 ist ein Diastrukturelement 32-38 angeordnet, dass das Licht im Wesentlichen unverändert durchlässt.

Auch die zweite Ausführungsform des Dias 30 lässt das Licht, das von der Lichtquelle in das Dia 30 eingestrahlt wird, vollständig durch bzw. ist für das Licht durchlässig. Die Richtung eines Teils des Lichts wird lediglich geändert.

Fig. 4 zeigt eine Detailansicht einer dritten Ausführungsform des Dias 30 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1.

Die dritte Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform dadurch, dass die (im Querschnitt dreieckigen) Diastrukturelemente 32-38, die das Licht ablenken, bei der dritten Ausführungsform einen anderen Winkel zu der Ausgangsfläche 95 der Lichtquelle als bei der ersten Ausführungsform aufweisen, so dass das Licht mehrfach abgelenkt wird, wodurch Totalreflektion auftritt. Das (im Querschnitt rechteckige) Diastrukturelement 32-38 in Fig. 4, das in Fig. 4 in der Mitte gezeigt ist, lässt das Licht ungehindert durch das Dia 30 hindurch. Somit wird ein Teil des Lichts totalreflektiert, während ein anderer Teil des Lichts im Wesentlichen unverändert durch das Dia 30 gelassen wird.

Fig. 5 zeigt eine Detailansicht einer vierten Ausführungsform des Dias 30 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1. Die Diastrukturelemente 32-38 weisen bei der vierten Ausführungsform im Querschnitt zumindest teilweise eine dreieckige Form auf. Das einfallende Licht 50 wird teilweise zunächst totalreflektiert, dann gebrochen und dann zur Seite gelenkt, so dass das Licht nicht auf die Projektionsoptik 60 gelangt. Somit kann totalreflektiertes Licht bei entsprechender Winkelung der Diastrukturelemente 32-38 auch in Richtung der Projektionsoptik 60 aus dem Dia 30 austreten und seitlich an der Eintrittsapertur der Projektionsoptik 60 vorbeigelenkt werden. Das einfallende Licht 50 gelangt in Bereichen des Dias 30, die im Querschnitt keine dreieckige Form aufweisen, im Wesentlichen ungehindert und in der Richtung unverändert durch das Dia 30 hindurch. Dieses Licht ist dann Nutzlicht 52, 53, 54.

Fig. 6 zeigt eine Detailansicht einer fünften Ausführungsform des Dias 30 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1. Die Diastrukturelemente 32-38 bei der fünften Ausführungsform weisen eine linsenartige Struktur auf. Hierdurch wird das Licht derart umverteilt bzw. abgelenkt und/oder gebeugt, dass auf einer Ebene, die beabstandet zu dem Dia 30 ist, eine Art Punktarrray oder ein anderes Zwischenbild erzeugt, an deren Punkten das Licht fokussiert ist, und dieses Punktarrray wird mittels der Projektionsoptik 60 auf die

Oberfläche 98 des Materials 97 projiziert. Kein Teil des Lichts wird derart abgelenkt, gebrochen, gebeugt oder ähnliches, dass dieses nicht zum Erzeugen des Musters beiträgt. Vorteilhaft hieran ist, dass das gesamte Licht zum Erzeugen des Musters verwendet wird. Hierdurch kann das Muster besonders kontrastreich sein. Das Muster, das auf die Oberfläche 98 des Materials 97 gestrahlt wird, wird erst durch die Projektionsoptik 60 erzeugt.

Fig. 7 zeigt eine Detailansicht einer sechsten Ausführungsform des Dias 30 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1. Das Dia 30 umfasst einen Fabry-Perot-Resonator bzw. die Diastrukturelemente 32-38 bilden Fabry-Perot-Resonator-Strukturen. Hierdurch wird das Licht in einem Bereich (in Fig. 6 links und rechts von der Mitte) im Wesentlichen vollständig reflektiert. In der Mitte wird das Licht im Wesentlichen unverändert durch das Dia 30 gelassen.

Fig. 8 zeigt eine Detailansicht einer siebten Ausführungsform des Dias 30 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1. Die Diastrukturelemente 32-38 bilden bei der siebten Ausführungsform ein Gitter, durch die das Licht gebeugt wird. In Fig. 7 ist oben und unten von der Mitte das gebildete Gitter zu sehen. Hierdurch wird das Licht derart gebeugt (Beugungsordnungen $\neq 0$), dass das Licht entweder überhaupt nicht zur Projektionsoptik 60 gelangt oder nach dem Durchlaufen der Projektionsoptik 60 nicht zum Erzeugen des Musters beiträgt. Das abgelenkte Licht ist in Fig. 7 durch schräg nach oben rechts bzw. unten rechts verlaufende Pfeile gezeigt. Der im oberen Teil von Fig. 7 horizontal nach rechts verlaufende Pfeil zeigt das Licht, das das Muster erzeugt bzw. projiziert.

Fig. 9 zeigt eine Detailansicht einer achten Ausführungsform des Dias 30 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1. Bei der Herstellung der achten Ausführungsform des Dias 30 werden das Licht absorbierende und/oder stark streuende Diastrukturelemente 32-38 während des additiven Herstellungsverfahrens ebenfalls hergestellt. Somit wird ein Teil des Lichts bzw. das Licht in vorgesehenen Bereichen des Dias 30 absorbiert und gelangt nicht zur Projektionsoptik 60. Ein anderer Teil des Lichts wird im Wesentlichen unverändert durch das Dia 30 gelassen.

Fig. 10 zeigt eine Detailansicht einer neunten Ausführungsform des Dias 30 der Lichtprojektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1. Bei der neunten Ausführungsform gibt es Bereiche

des Dias 30 bzw. der Diastrukturelemente 32-38 die einen Aufnahmeraum aufweisen. In diesen Aufnahmeraum bzw. in die Aufnahmeräume kann während der additiven Herstellung des Dias 30 (und somit auch der Projektionsoptik 60) das Licht teilweise oder vollständig absorbierendes Material eingebracht werden. Denkbar ist auch, dass das das Licht teilweise oder vollständig absorbierende Material nach der additiven Herstellung des Dias 30 und der Projektionsoptik 60 in den Aufnahmeraum bzw. die Aufnahmeräume eingebracht wird. Das Material kann insbesondere ein Fluid, vorzugsweise eine Flüssigkeit, sein. Diese Flüssigkeit kann zusätzlich aushärtbar sein und z.B. polymerisieren oder eintrocknen. Die Aufnahmeräume können verschließbar sein, so dass diese nach dem Einbringen des Materials dauerhaft oder wiederöffenbar verschlossen werden.

Es ist möglich, dass das Dia 30 bzw. die Optikvorrichtung 20 ein schwarz-weißes Muster erzeugt. Denkbar ist jedoch auch, dass das Dia 30 bzw. die Optikvorrichtung 20 ein Muster erzeugt, das zusätzlich zu Schwarz und Weiß einen oder mehrere Grautöne umfasst. Hierzu wird das Licht nur teilweise absorbiert und/oder gebrochen und/oder reflektiert und/oder gestreut.

Das Dia 30 kann derart ausgebildet sein, dass unterschiedliche Bereiche des Dias 30 für unterschiedliche Wellenlängen von Licht bzw. für verschiedenfarbiges Licht unterschiedlich durchlässig ist bzw. das Licht abhängig von der Wellenlänge unterschiedlich bricht, beugt, reflektiert und/oder absorbiert. Hierdurch kann mit Licht einer ersten Wellenlänge (z.B. blaues Licht) ein anderes Muster projiziert werden als mit Licht einer zweiten Wellenlänge (z.B. rotes Licht). Dies ist bei allen oben beschriebenen Ausführungsform des Dias 30 möglich. Somit können zeitlich hintereinander durch Änderung des Lichts unterschiedliche Muster auf die Oberfläche 98 gestrahlt werden.

Denkbar ist auch, dass bei Einstrahlen von weißem Licht 50 in die Optikvorrichtung 20 durch die Optikvorrichtung 20 farbige Muster projiziert werden.

Bezugszeichenliste:

- 10 Lichtprojektionsvorrichtung
- 20 Optikvorrichtung
- 30 Dia
- 32-38 Diastrukturelement

50	Einstrahlendes Licht
52, 53, 54	Nutzlicht
55-59	Falschlicht
60	Projektionsoptik
62	erste Linse
64	zweite Linse
70	erste Stege
80	zweite Stege
90	Glasfaser
95	Ausgangsfläche der Lichtquelle
97	Material
98	Oberfläche des Materials

Ansprüche

1. Optikvorrichtung (20) zum Projizieren eines Musters auf eine Oberfläche (98), wobei die Optikvorrichtung (20) folgendes umfasst:
ein Dia (30), wobei das Dia (30) zum Erzeugen des Musters einen Teil von in die Optikvorrichtung (20) gestrahltem Licht bricht und/oder beugt und/oder reflektiert und/oder absorbiert, und
eine Projektionsoptik (60), wobei die Projektionsoptik (60) zum Abbilden des Musters auf die Oberfläche (98) ausgebildet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Dia (30) und die Projektionsoptik (60) einstückig ausgebildet sind.
2. Optikvorrichtung (20) nach Anspruch 1, wobei
das Dia (30) derart ausgebildet ist, dass das Dia (30) für auf das Dia (30) gerichtetes Licht im Wesentlichen vollständig durchlässig ist.
3. Optikvorrichtung (20) nach Anspruch 1 oder 2, wobei
das Dia (30) und die Projektionsoptik (60) aus dem im Wesentlichen gleichen, insbesondere dielektrischen, Material ausgebildet sind.
4. Optikvorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
das Dia (30) derart ausgebildet ist, dass ein Teil des auf das Dia (30) gerichteten Lichts von dem Dia (30) derart gebrochen und/oder gebeugt und/oder reflektiert wird, dass der gebrochene und/oder gebeugte und/oder reflektierte Teil der Lichtstrahlung nicht auf die Projektionsoptik (60) fällt.
5. Optikvorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
die Projektionsoptik (60) zwei voneinander beabstandete, insbesondere asphärische, Linsen (62, 64) umfasst.
6. Optikvorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
das Dia (30) und die Projektionsoptik (60) durch mehrere erste Stege (70), insbesondere direkt, miteinander verbunden sind, wobei die Stege (70) einstückig mit dem Dia (30) und der Projektionsoptik (60) ausgebildet sind.

7. Optikvorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Dia (30) derart ausgebildet ist, dass zumindest ein erster Bereich des Dias (30) Licht unterschiedlicher Wellenlängen unterschiedlich bricht und/oder beugt und/oder reflektiert und/oder absorbiert.
8. Optikvorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Dia (30) derart ausgebildet ist, dass das projizierte Muster beim Einstrahlen von weißem Licht in die Optikvorrichtung (20) mindestens einen Bereich mit einem Grauton aufweist.
9. Lichtprojektionsvorrichtung (10) umfassend eine Optikvorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, und eine Lichtquelle zum Senden von Licht in die Optikvorrichtung (20), wobei die Optikvorrichtung (20) derart auf der Lichtquelle angeordnet ist, dass das von der Lichtquelle abgestrahlte Licht aufgrund von Brechung und/oder Beugung und/oder Reflektion und/oder Absorption im Dia (30) nur ein Teil des von der Lichtquelle abgestrahlten Lichts das von der Optikvorrichtung (20) projizierte Muster bildet.
10. Lichtprojektionsvorrichtung (10) nach Anspruch 9, wobei die Optikvorrichtung (20) derart auf der Lichtquelle angeordnet ist, dass das von der Lichtquelle ausgesandte Licht aufgrund von Brechung und/oder Beugung und/oder Reflektion und/oder Absorption im Dia (30) nur teilweise durch die Optikvorrichtung (20) gelangt.
11. Lichtprojektionsvorrichtung (10) nach Anspruch 9 oder 10, wobei die Lichtquelle eine, insbesondere multimodale, Glasfaser (90), einen Wellenleiter und/oder eine LED umfasst.
12. Lichtprojektionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 9-11, wobei die Lichtquelle einstückig mit der Optikvorrichtung (20) ausgebildet ist.
13. Lichtprojektionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 9-12, wobei die Lichtquelle derart ausgebildet ist, dass die Lichtquelle Licht auf die Optikvorrichtung (20) in einer Kegelform, insbesondere einer Kreiskegelform, mit

einem Öffnungswinkel von maximal 30° , insbesondere maximal 15° , vorzugsweise maximal 5° , abstrahlt.

14. Verfahren zum Herstellen einer Optikvorrichtung (20), insbesondere nach einem der Ansprüche 1-8, in einem additiven Herstellungsverfahren, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Herstellen

- eines Dias (30), wobei das Dia (30) zum Erzeugen eines Musters auf einer Oberfläche (98) einen Teil von in die Optikvorrichtung (20) gestrahltem Licht bricht und/oder beugt und/oder reflektiert und/oder absorbiert,

und

- einer Projektionsoptik (60), wobei die Projektionsoptik (60) zum Abbilden des Musters auf eine Oberfläche (98) ausgebildet ist,

wobei das Dia (30) und die Projektionsoptik (60) einstückig hergestellt werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei

die Optikvorrichtung (20) direkt auf einer Lichtquelle zum Strahlen von Licht in die Optikvorrichtung (20) additiv hergestellt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, wobei

das Dia (30) derart hergestellt wird, dass nur ein Teil des in die Optikvorrichtung (20) gestrahlten Lichts zur Projektionsoptik (60) gelangt.

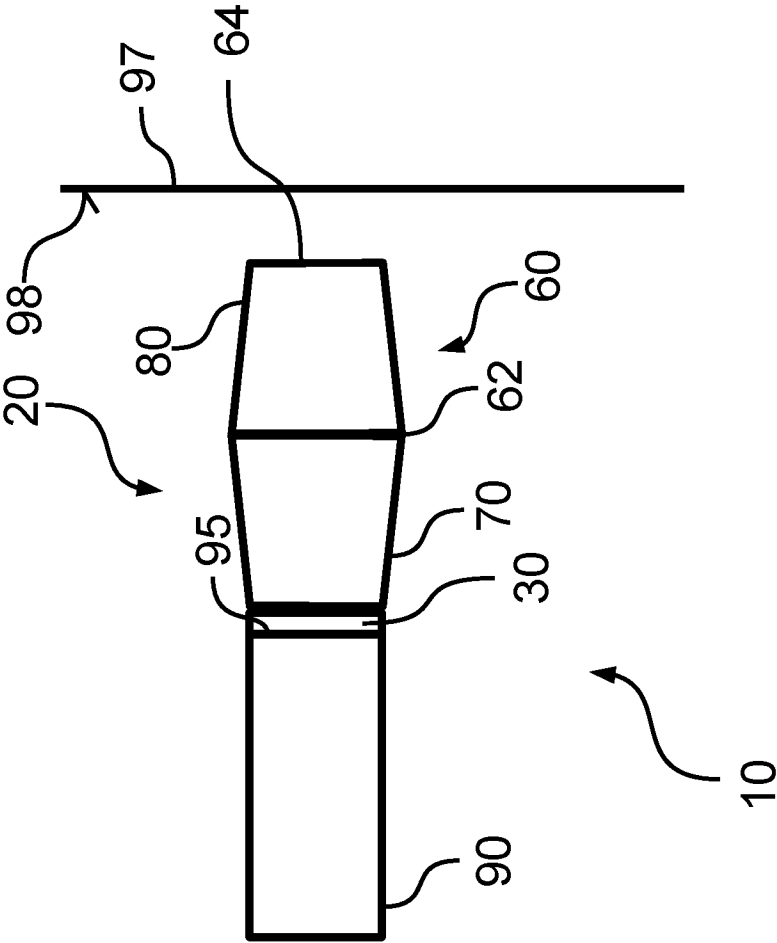
17. Verfahren zum Untersuchen einer Oberfläche (98), wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Strahlen von Licht durch eine Optikvorrichtung (20) nach einem der Ansprüche 1-8 oder aus einer Lichtprojektionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 9-13 oder durch eine Optikvorrichtung (20), die mittels eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 14-16 hergestellt wurde, zum Erzeugen eines, insbesondere zumindest teilweise regelmäßigen, Musters auf der Oberfläche (98);

Erfassen des von der Oberfläche (98) reflektierten Lichts; und

Vergleichen des reflektierten Lichts mit einem Sollmuster, insbesondere mittels eines maschinellen Lernsystems, zum Feststellen von Eigenschaften, insbesondere Unebenheiten, der Oberfläche (98).

Fig. 1



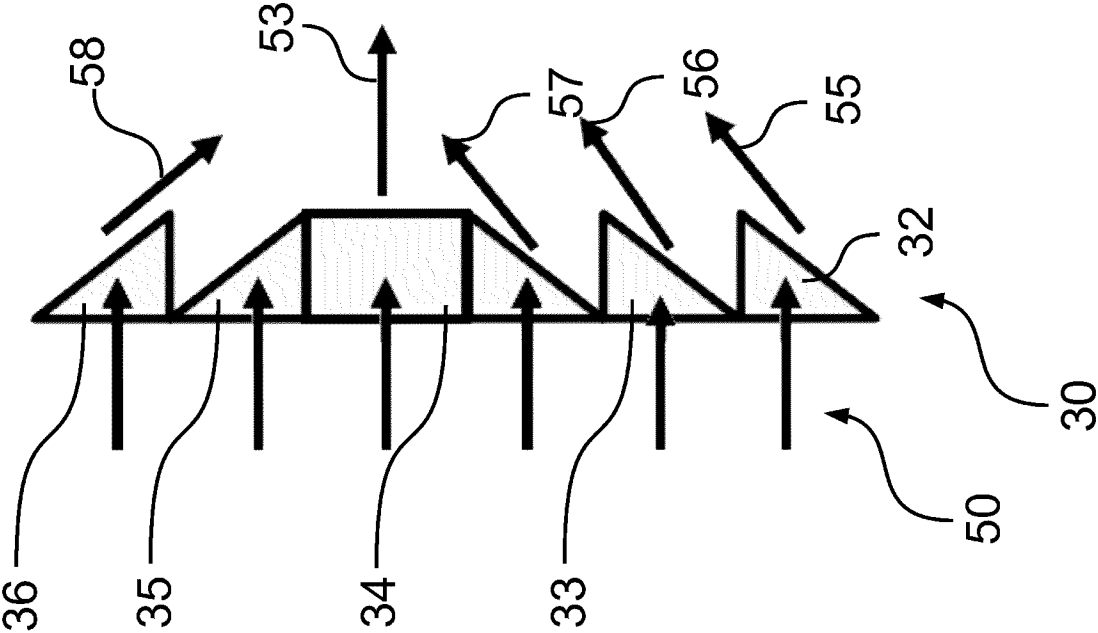


Fig. 2

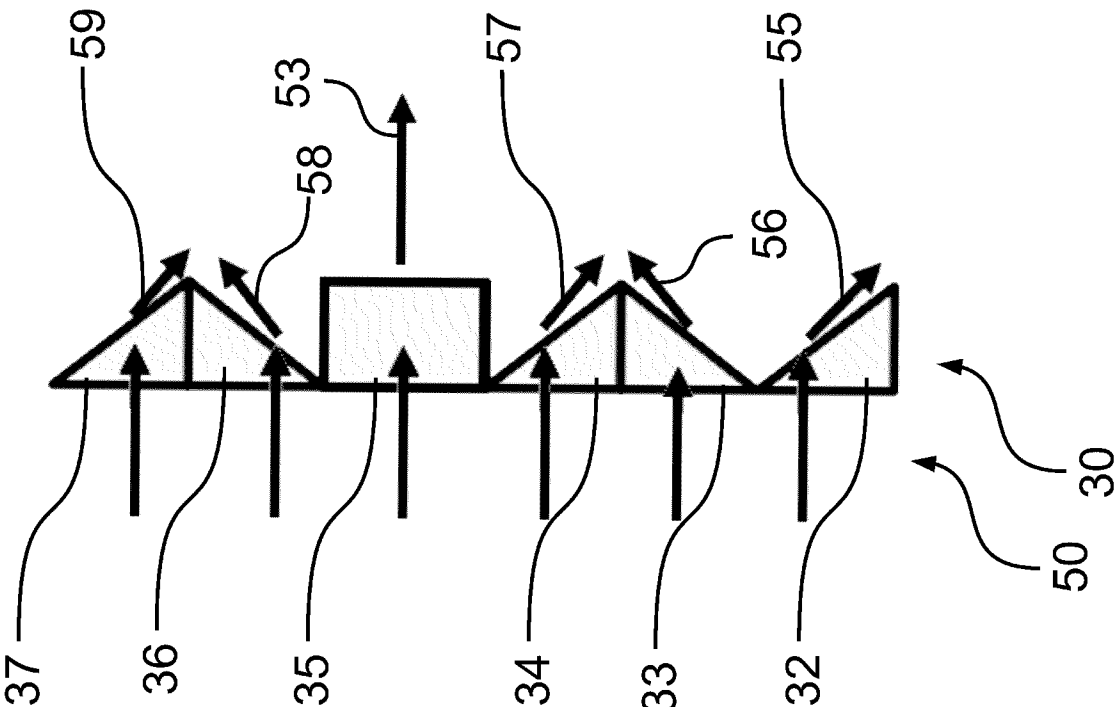


Fig. 3

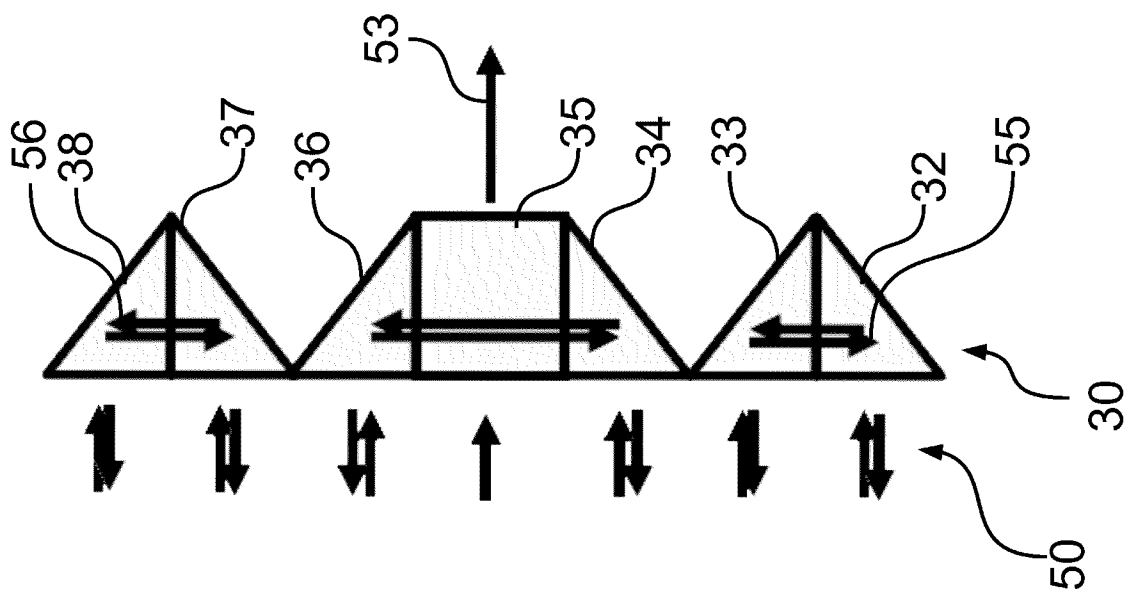


Fig. 4

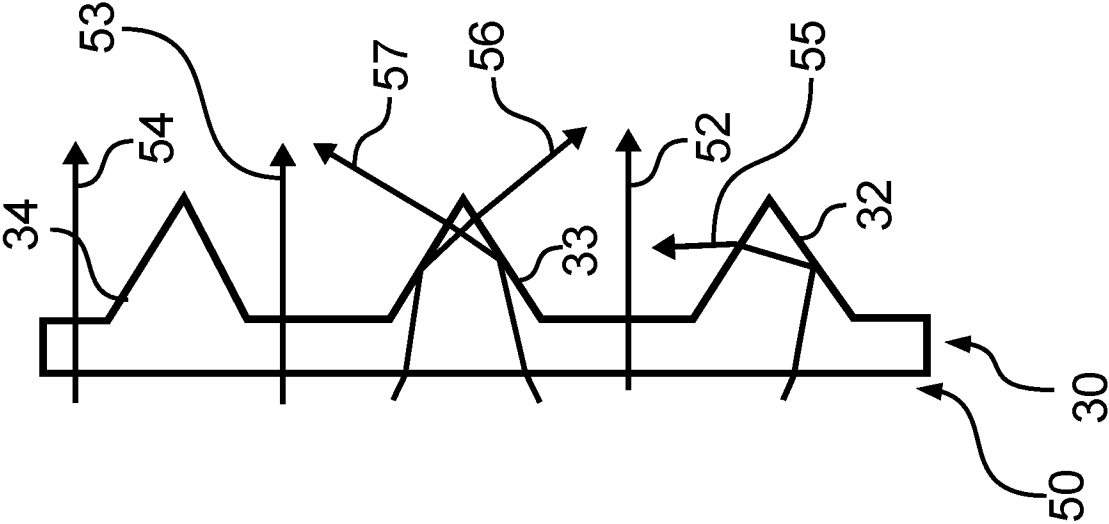


Fig. 5

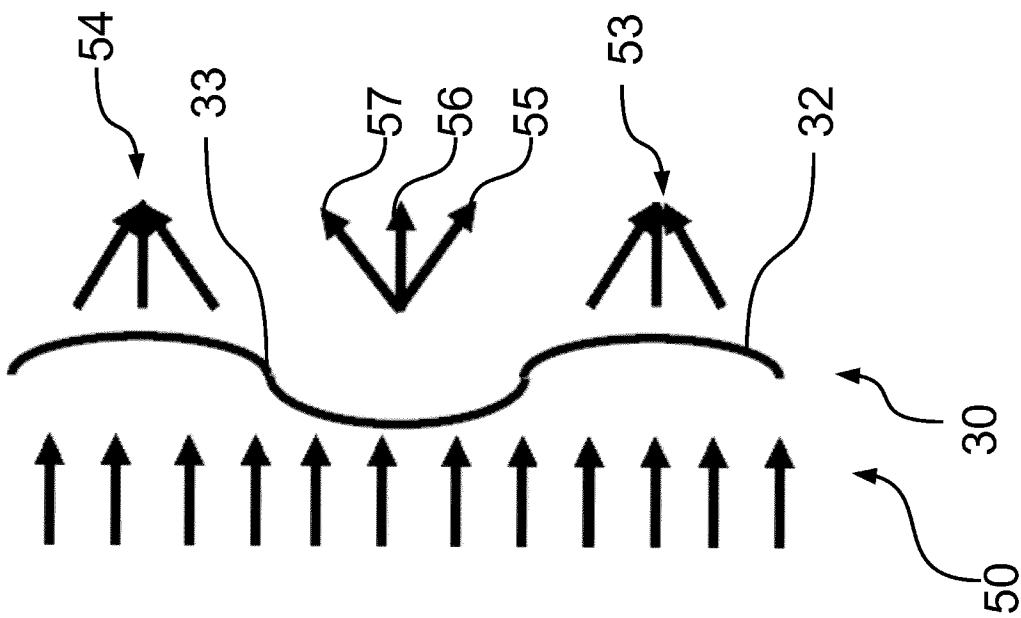


Fig. 6

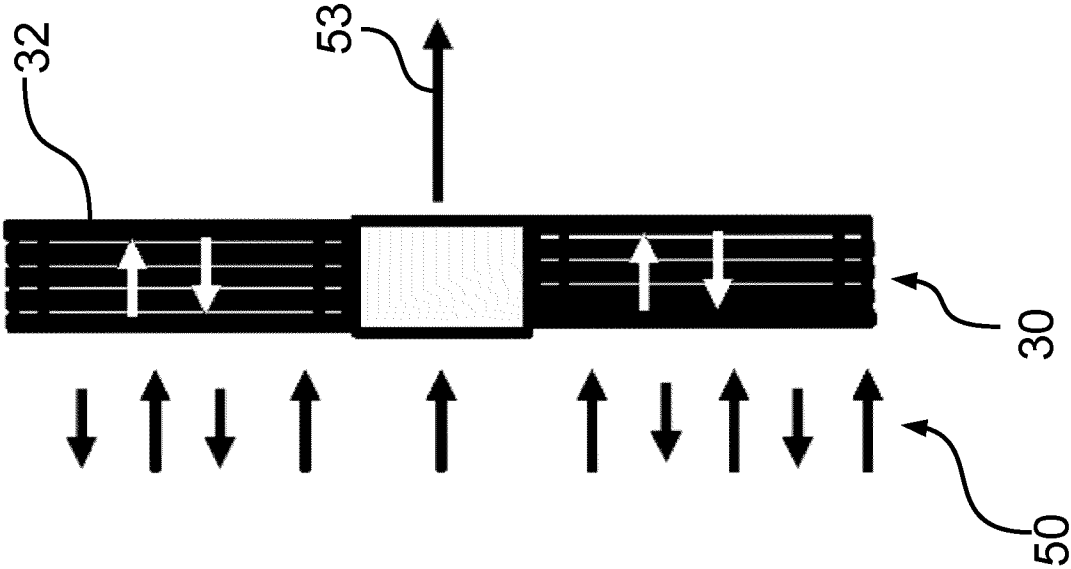


Fig. 7

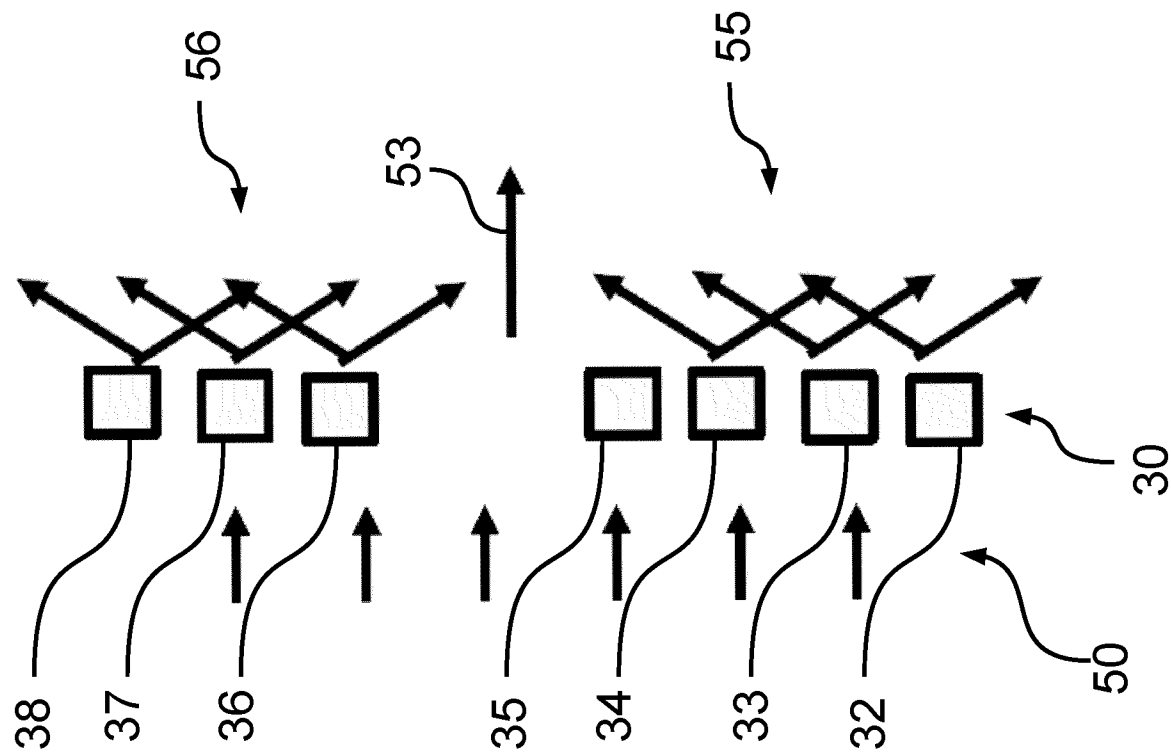


Fig. 8

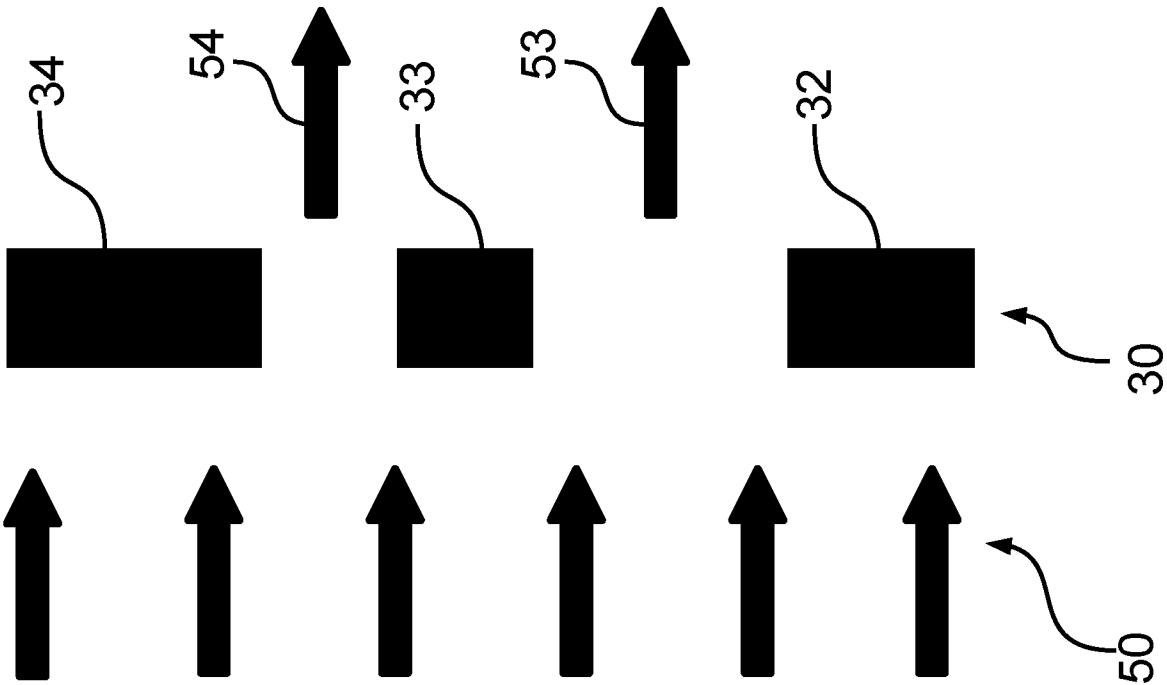


Fig. 9

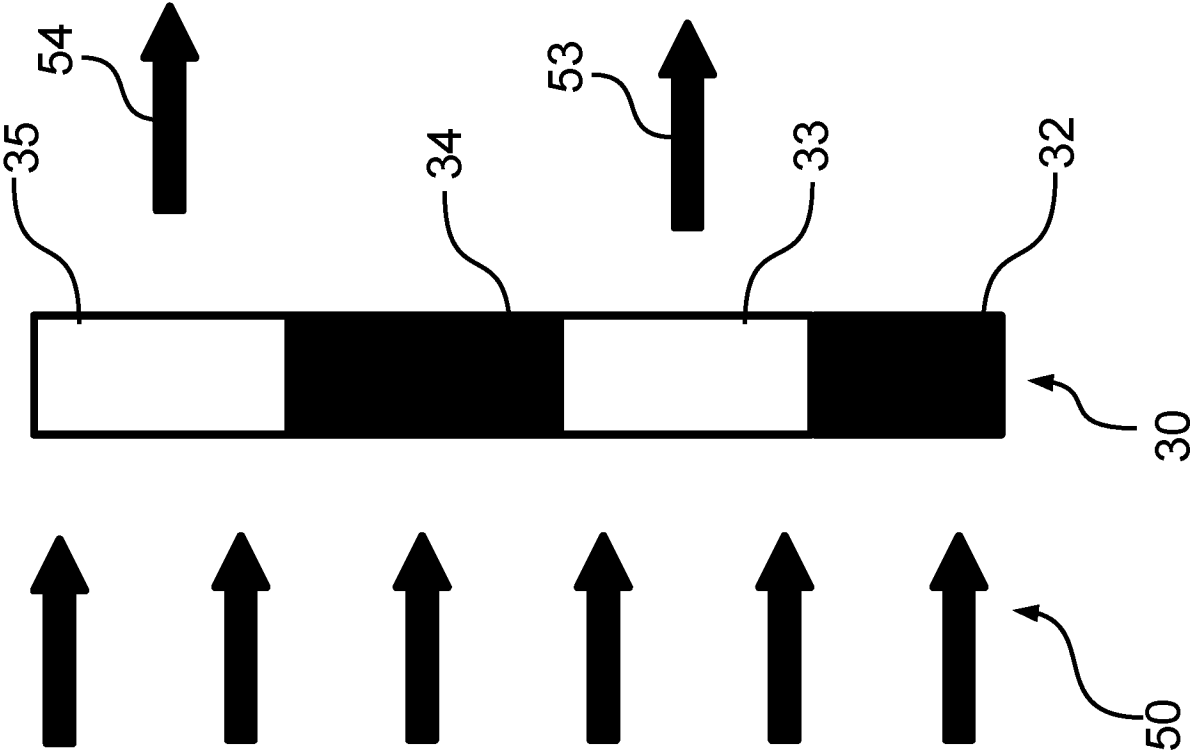


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/066289

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02B 27/18**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B; G02B; G03B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102019125977 A1 (ZEBRA TECH CORP [US]) 30 April 2020 (2020-04-30) the whole document	1-5,7-11,13,14,16
X	US 2015355470 A1 (HERSCHBACH NORBERT [LU]) 10 December 2015 (2015-12-10)	1-5,7-11,13,14,16,17
Y	the whole document	6,12,15
Y	THIELE SIMON ET AL. "3D printed stacked diffractive microlenses" <i>OPTICS EXPRESS</i> , US, Vol. 27, No. 24, 25 November 2019 (2019-11-25), page 35621, Retrieved from the Internet: https://opg.optica.org/directpdfaccess/d4cf24d2-c45e-44a8-9492e82d237afe54_423356/oe-27-24-35621.pdf ?da=1&id=423356&seq=0&mobile=no DOI: 10.1364/OE.27.035621 ISSN: 1094-4087, XP093204488 the whole document	6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 September 2024

Date of mailing of the international search report

10 October 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Ardelt, Per-Lennart

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/066289

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	TIMO GISSIBL ET AL. "Sub-micrometre accurate free-form optics by three-dimensional printing on single-mode fibres" <i>NATURE COMMUNICATIONS</i> , Vol. 7, 24 June 2016 (2016-06-24), page 11763 DOI: 10.1038/ncomms11763 XP055441901 the whole document	12,15
A	TOMASZ ET AL. "Optical elements from 3D printed polymers" <i>E-POLYMERS</i> , DE, Vol. 21, No. 1, 01 January 2021 (2021-01-01), pages 549-565, Retrieved from the Internet: https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/epoly-2021-0061/html?lang=en DOI: 10.1515/epoly-2021-0061 ISSN: 1618-7229, XP093204464 the whole document	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/066289

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102019125977	A1	30 April 2020	CN	111104809	A	05 May 2020
				DE	102019125977	A1	30 April 2020
				US	2020134273	A1	30 April 2020

US	2015355470	A1	10 December 2015	CN	104956179	A	30 September 2015
				DE	112013006324	T5	15 October 2015
				US	2015355470	A1	10 December 2015
				WO	2014102341	A1	03 July 2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G02B27/18
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01B G02B G03B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2019 125977 A1 (ZEBRA TECH CORP [US]) 30. April 2020 (2020-04-30) das ganze Dokument -----	1-5, 7-11,13, 14,16
X	US 2015/355470 A1 (HERSCHBACH NORBERT [LU]) 10. Dezember 2015 (2015-12-10)	1-5, 7-11,13, 14,16,17
Y	das ganze Dokument ----- - / - -	6,12,15

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 15. September 2024	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 10/10/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Ardelt, Per-Lennart

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	THIELE SIMON ET AL: "3D printed stacked diffractive microlenses", OPTICS EXPRESS, Bd. 27, Nr. 24, 25. November 2019 (2019-11-25), Seite 35621, XP093204488, US ISSN: 1094-4087, DOI: 10.1364/OE.27.035621 Gefunden im Internet: URL: https://opg.optica.org/directpdfaccess/d4cf24d2-c45e-44a8-9492e82d237afe54_423356/oe-27-24-35621.pdf?da=1&id=423356&seq=0&mobile=no > das ganze Dokument -----	6
Y	TIMO GISSIBL ET AL: "Sub-micrometre accurate free-form optics by three-dimensional printing on single-mode fibres", NATURE COMMUNICATIONS, Bd. 7, 24. Juni 2016 (2016-06-24), Seite 11763, XP055441901, DOI: 10.1038/ncomms11763 das ganze Dokument -----	12,15
A	TOMASZ ET AL: "Optical elements from 3D printed polymers", E-POLYMERS, Bd. 21, Nr. 1, 1. Januar 2021 (2021-01-01) , Seiten 549-565, XP093204464, DE ISSN: 1618-7229, DOI: 10.1515/epoly-2021-0061 Gefunden im Internet: URL: https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/epoly-2021-0061/html?lang=en > das ganze Dokument -----	1-17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/066289

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102019125977 A1	30-04-2020	CN 111104809 A	05-05-2020
		DE 102019125977 A1	30-04-2020
		US 2020134273 A1	30-04-2020

US 2015355470 A1	10-12-2015	CN 104956179 A	30-09-2015
		DE 112013006324 T5	15-10-2015
		US 2015355470 A1	10-12-2015
		WO 2014102341 A1	03-07-2014
