

(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
01. Juni 2023 (01.06.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/094432 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H04N 9/31 (2006.01) G02B 27/48 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/082945

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. November 2022 (23.11.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 130 561.6
23. November 2021 (23.11.2021) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS JENA GMBH** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder: **GREWE, Adrian**; c/o Carl-Zeiss-Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **JUNGHANS,**

Marc; c/o Carl-Zeiss-Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **KLEINDIENST, Roman**; c/o Carl-Zeiss-Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **KUEHL, Siemen**; c/o Carl-Zeiss-Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **ERLER, Christoph**; c/o Carl-Zeiss-Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

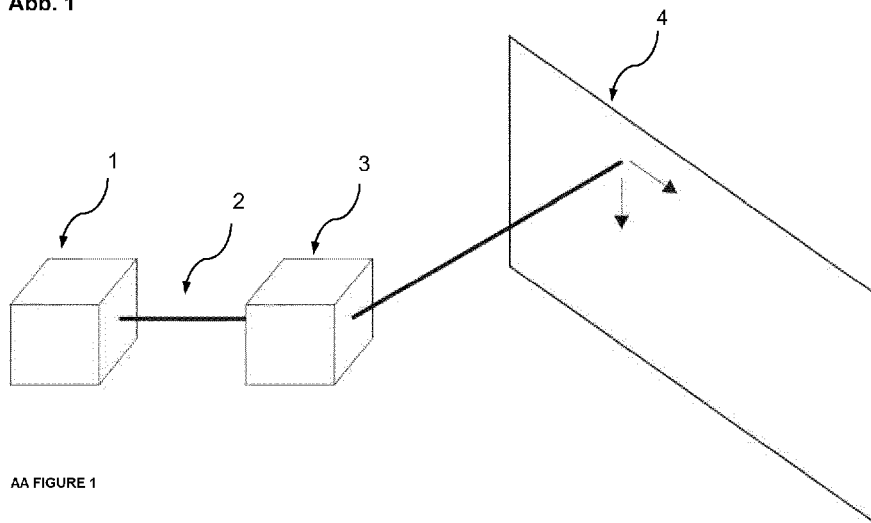
(74) Anwalt: **HERTIN UND PARTNER RECHTS- UND PATENTANWÄLTE**; Kurfürstendamm 54/55, 10707 Berlin (DE).

(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, 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,

(54) Title: PROJECTOR OR DISPLAY COMPRISING A SCANNING LIGHT SOURCE AND A PIXELATED ARRAY

(54) Bezeichnung: PROJEKTOR ODER DISPLAY MIT SCANNENDER LICHTQUELLE UND PIXELIERTEM ARRAY

AA
Abb. 1



(57) **Abstract:** The invention preferably relates to an imaging unit comprising: a light source (1) for generating illumination radiation (2); and a light-modulating pixel array (4) for generating an image by modulating, pixel by pixel, the illumination radiation (2) incident on the pixel array (4). The imaging unit is characterised in that the illumination radiation (2), when it strikes the light-modulating pixel array (4), has a lateral extent which is smaller than the pixel array (4) and is guided over the pixel array (4) by means of a scanning unit (3) in order to generate an image. By combining the scanning process of the illumination radiation (2) over the light-modulating pixel array (4), the speckle signatures of the scanning unit (3) and of the pixel array (4) are superimposed or combined in order to generate a pixel. Advantageously, visible speckle patterns in the resulting image can be significantly reduced.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft bevorzugt eine Bildgebereinheit mit einer Lichtquelle (1) zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung (2) sowie einem lichtmodulierenden Pixelarray (4) zur Erzeugung eines Bildes durch pixelweise Modulation der auf den Pixelarray (4) einfallenden Beleuchtungsstrahlung (2). Die Bildgebereinheit ist dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsstrahlung (2) beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray (4) eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray (4) und zur Erzeugung eines Bildes mittels einer Scaneinheit (3) über das Pixelarray (4) geführt wird. Durch eine

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, 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, 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)

Kombination des Scanvorgangs der Beleuchtungsstrahlung (2) über das lichtmodulierende Pixelarray (4) werden zur Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit (3) und des Pixelarray (4) überlagert bzw. kombiniert. Vorteilhaft können sichtbare Specklemuster im resultierenden Bild hierdurch deutlich reduziert werden.

PROJEKTOR ODER DISPLAY MIT SCANNENDER LICHTQUELLE UND PIXELIERTEM ARRAY

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft bevorzugt eine Bildgebereinheit mit einer Lichtquelle zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung sowie einen lichtmodulierenden Pixelarray zur Erzeugung eines Bildes durch pixelweise Modulation der auf den Pixelarray einfallenden

Beleuchtungsstrahlung. Die Bildgebereinheit ist dadurch gekennzeichnet, dass die

- 5 Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray und zur Erzeugung eines Bildes mittels einer Scaneinheit über das Pixelarray geführt wird. Durch eine Kombination des Scanvorgangs der Beleuchtungsstrahlung über das lichtmodulierende Pixelarray werden zur Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit und des Pixelarrays
- 10 überlagert bzw. kombiniert. Vorteilhaft können sichtbare Specklemuster im resultierenden Bild hierdurch deutlich reduziert werden.

Hintergrund und Stand der Technik

Die Erfindung betrifft das Gebiet beleuchteter Systeme. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung die Reduzierung von Speckle- und Interferenzmustern in Displays oder Projektoren,

- 15 welche mittels kohärenter Lichtquellen, insbesondere Lasern beleuchtet werden.

Die Verwendung von Lasern als Alternative zu weißen Lichtquellen, wie beispielsweise Xenonbogenlampen, führt zu einer Reihe von Vorteilen in der Bildgebung. Insbesondere erlauben Laser ein höhere Farbsättigung, eine stärkere Leistung, verbesserte Effizienz und Kontrast.

- 20 Auch für Anwendungen eines Head-Up-Displays (HUDs) haben sich Laser als vorteilhafte Beleuchtungsquelle etabliert. HUDs dienen der Darstellung von Informationen in einer virtuellen Ebene, zum Beispiel vor der Windschutzscheibe eines Kraftfahrzeugs. Ein Fahrzeuginsasse oder ein Fahrer des Fahrzeugs kann die Information ablesen, ohne den Blick auf das Armaturenbrett senken zu müssen.

- 25 Werden kohärente Lichtquellen, wie beispielsweise Laser, in Projektoren oder Displays verwendet, kann es zu unerwünschten Interferenzerscheinungen, sog. Speckle, kommen. Als Specklemuster werden insbesondere die körnigen Interferenzphänomene bezeichnet, die sich bei hinreichend kohärenter Beleuchtung optisch rauer Objektoberflächen beobachten lassen.

Beim Auftreffen auf eine raue Oberfläche – beispielsweise beim Auftreffen auf einen

- 30 Projektionsschirm – wird Laserlicht unter diversen Winkeln reflektiert und es tritt eine zufällige

räumliche Interferenz des kohärenten Laserlichts mit sich selbst auf. Die resultierende Interferenz der kohärenten Lichtstrahlung bewirkt konstruktive und destruktive Interferenz. Für das menschliche Auge tritt dieser Bildfehler in Form sichtbarer Körnungen bzw. Specklemuster auf.

- 5 Die Unebenheiten der beleuchteten rauen Oberflächen können auch als Streuzentren betrachtet werden, von denen Kugelwellen unterschiedlicher Phase ausgehen, die im Fernfeld interferieren. Es entsteht eine räumliche Struktur mit zufällig verteilten Intensitätsminima und -maxima. Als dreidimensionale Interferenzerscheinung gibt es longitudinale und transversale Speckle, die von der jeweiligen longitudinalen und transversalen Kohärenz abhängen.
- 10 Transversale Speckle haben in größerer Entfernung höhere Signifikanz, da sich die einzelnen Kugelwellenanteile als ebene Wellen vereinfachen lassen.

Die Speckle werden mithin durch lokale Phasendifferenzen innerhalb der Apertur des optischen Systems verursacht, welche zwangsläufig durch die Oberflächenrauheit einzelner Flächen im optischen System oder auch durch die Rauheit des Projektionsschirms entstehen.

- 15 Ein Specklemuster ist daher ortsfest und charakteristisch für einen optischen Pfad durch das System.

Im Stand der Technik gibt es eine Reihe von Ansätzen, um die nachteilige Wirkung von Specklemustern auf die Bildqualität zu verringern.

- 20 In US 5,272,473 wird ein Bildgebungssystem mit kohärenter Lichtquelle vorgeschlagen, bei dem ein Displaybildschirm mit einem Wandler zur Erzeugung akustischer Oberflächenwellen gekoppelt wird, um das Auftreten von Speckle zu reduzieren. Die Implementation ist jedoch aufwendig und kann zudem nicht auf beliebige Displays oder Projektionsanordnungen übertragen werden.

- 25 Aus US 8,262,235 B2 ist ein Laserprojektor bekannt, welcher eine Oszillationsvorrichtung umfasst, bei der mindestens ein optisches Element des optischen Projektionssystems periodisch entlang der optischen Achse des Lichtes oszilliert wird. Das oszillierende Element im Laserprojektor soll das Specklemuster auf dem Bildschirm so weit reduzieren, dass es mit bloßem Auge nicht mehr erkannt werden kann. Die oszillierende Änderung entlang der optischen Achse kann jedoch die Bildqualität mindern.

- 30 US 9,541,760 B2 offenbart ein Head-up-Display für ein Fahrzeug, wobei das Head-up-Display einen Laser und ein Scanning-System aufweist, mit denen ein in einem Sichtfeld eines Fahrers des Fahrzeugs darzustellendes Bild aus einzelnen Punkten punktwise erzeugt wird. Zu Vermeidung unerwünschter Helligkeitsunterschiede wird der Laser derart gewählt, dass die Laserpunkte auf der Projektionsfläche so klein sind, dass diese nach der Vergrößerung des

darzustellenden Bildes in der virtuellen Bildebene immer noch kleiner sind als das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges.

Aus US 4,035,068 und US 5,313,479 ist es bekannt, zur Reduzierung von Speckle beweglichen Diffusoren einzusetzen, um durch eine lokale Phasenmodulation Specklemuster über die Integrationszeit des Beobachters/Detektors zu mitteln und deren Sichtbarkeit zu reduzieren.

WO 97/02507 schlägt vor, zur Verringerung der in einem Bild beobachtbaren Specklemuster in einem Laserprojektor ein Specklefeld, welches zwischen dem Objektpunkt und einem Bildpunkt liegt, um eine optische Achse zu drehen, um über mehrere unkorrelierte Felder zu mitteln.

US 2008/0304128 A1 betrifft ein Laserprojektionssystem bei dem ein aufgeweiteter Laserstrahl auf einen zweidimensionalen Lichtmodulator, u.a. ein LCD-Panel, geführt wird, welcher zur Erzeugung eines Bildes auf einer Projektionsfläche den aufgeweiteten Laserstrahl pixelweise moduliert. Um die Sichtbarkeit von Speckle im projizierten Bild zu reduzieren, wird dem aufgeweiteten Laserstrahl ein winkelabhängiges Scanning eingeprägt. Zu diesem Zweck wird ein beweglicher Spiegel bereitgestellt, dessen Oberfläche auf den Eingang eines Multi-Moden-Wellenleiters abgebildet wird, sodass der Laserstrahl am Eingang des Wellenleiters unterschiedliche Winkel aufweist, welche nach dessen Aufweitung auf das LCD-Panel und Projektion auf den Projektionsschirm zu einer Mittelung von Specklemustern führt.

Aus EP3267236 A1 ist ein Projektor umfassend eine Bildverarbeitungseinheit und ein optischer Scanner bekannt, bei dem ein Laserstrahl mittels eines MEMS-Spiegels in zwei Richtungen über eine zu scannende Fläche geführt wird. Auf der zu scannenden Fläche liegen einer oder mehrere Photodetektoren vor, welche dafür konfiguriert sind, in einem Detektionsbereich die einfallende Laserstrahlung zu messen. Das Messsignal des oder der Photodetektoren wird an eine Steuereinheit übermittelt und kann zur Anpassung und/oder Steuerung der Lichtquelle oder des MEMS-Spiegels genutzt werden. Hierdurch soll es ermöglicht werden etwaige Variation in der Scanamplitude des MEMS-Spiegels beispielsweise aufgrund von Temperaturschwankungen, auszugleichen.

Die zu scannende Oberfläche ist ein lichtdurchlässiges Element, bevorzugt Glas. Ein Bild, welches auf die zu scannende Oberfläche gezeichnet wird, wird vorzugsweise auf ein dahinterliegenden Projektionsschirm projiziert. Das Bild wird bevorzugt anhand der Bilddaten der Bildverarbeitungseinheit durch Modulation des Treibers der Lichtquelle erzeugt. Für eine Reduktion von Specklemustern wird in einer bevorzugten Ausführungsform die zu scannende Oberfläche als ein Array von Mikrolinsen ausgeführt, sodass eine Interferenz zwischen

Lichtfeldern unterschiedlichen Mikrolinsen – und mithin das Auftreten von Speckle – vermieden wird.

In Bezug auf die Ansätze des Standes der Technik besteht ein Bedarf an Verbesserung.

Insbesondere können die Ansätze zur Reduktion der Specklemuster gleichzeitig zu einer

- 5 Verminderung der Bildqualität führen oder sind in Bezug auf die Umsetzung aufwendig. Es wäre daher wünschenswert eine Vorrichtung bereitzustellen, welche mit einfachen Mitteln eine wirksame Specklereduktionen erlaubt, ohne die Bildqualität zu beeinträchtigen.

Aufgabe der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Bildgebereinheit ohne die Nachteile des Standes der

- 10 Technik bereitzustellen. Insbesondere war es eine Aufgabe der Erfindung eine Bildgebereinheit bereitzustellen, welche mit einfachen, konstruktiven Mitteln eine wirksame Reduktion von Specklemustern erlaubt und gleichzeitig eine ausgezeichnete Bildqualität gewährleistet.

Zusammenfassung der Erfindung

- 15 Gelöst wird die Aufgabe durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

In einer bevorzugten Ausführungsform betrifft die Erfindung eine Bildgebereinheit mit einer

Lichtquelle zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung sowie einem lichtmodulierenden

Pixelarray zur Erzeugung eines Bildes durch pixelweise Modulation der auf den Pixelarray

- 20 einfallenden Beleuchtungsstrahlung, wobei die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray und zur Erzeugung eines Bildes mittels einer Scaneinheit über das Pixelarray geführt wird, um eine Sichtbarkeit von Specklemustern im erzeugten Bild zu reduzieren.

Hierbei wird vorteilhaft ausgenutzt, dass bei der Erzeugung eines Bildpunktes Specklemuster,

- 25 welche von der Scaneinheit und dem lichtmodulierenden Pixelarray resultieren, überlagert werden und somit höherfrequente vorzugsweise nicht mehr sichtbare Specklemuster im erzeugten Bild darstellen.

Die erfindungsgemäße Bildeinheit erlaubt es vorteilhaft mit einfachen Mitteln die

wahrnehmbaren Specklemuster in einer Display- oder Projektionsebene zur reduzieren, ohne

- 30 dass die Bildqualität vermindert würde.

Erfindungsgemäß wird hierbei ausgenutzt, dass sowohl eine Scaneinheit als auch ein

lichtmodulierendes Pixelarray für unterschiedliche Scanpositionen bzw. Pixelzustände

charakteristische Specklesignaturen aufweisen. Insbesondere wird jeder Pixel eines

lichtmodulierenden Pixelarrays eine spezifische Specklesignatur aufweisen, welche von der Oberflächenbeschaffenheit und/oder dem Ansteuerungszustand (beispielsweise einer Kristallausrichtung im Falle eines LCD (engl. *liquid crystal display*)) abhängt. Ebenso werden sich auch die von einer Scaneinheit erzeugten Speckle für unterschiedliche Scanpositionen unterscheiden. Im Falle einer spiegelbasierten Scaneinheit werden die erzeugten Specklemuster neben der Position des Laserstrahls auf der Spiegelfläche ebenso von der unterschiedlichen Winkelabstrahlung abhängen, sodass ein Specklemuster im Lichtstrahl mit der Scanposition variiert.

Durch eine Kombination eines Scanvorgangs eines Lichtstrahles über ein Pixelarray werden zur Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit und des Pixelarrays überlagert bzw. kombiniert. In Abb. 2a) - d) ist dies beispielhaft illustriert. Während ein von der Scaneinheit geführter Beleuchtungsstrahl einen Pixel des lichtmodulierenden Pixelarrays überstreicht, werden in Abhängigkeit der Scanposition verschiedene Specklemuster, welche von der Scaneinheit resultieren mit einem für den jeweiligen Pixel charakteristischen Specklemuster überlagert. Ein resultierender Bildpunkt ist vorteilhaft durch ein gemittelttes Specklemuster mit höherer räumlicher Frequenz gekennzeichnet, welches für einen Betrachter nicht oder nur in reduziertem Maße wahrnehmbar ist.

Eine Reduktion der Sichtbarkeit von Specklemustern im erzeugten Bild wird mithin vorzugsweise dadurch erreicht, dass die Beleuchtungsstrahlung von der Scaneinheit derart geführt wird, dass bei einem Überstreichen der Pixel des lichtmodulierenden Pixelarrays in Abhängigkeit der Scanposition verschiedene Specklemuster, welche von der Scaneinheit resultieren, mit einem für den jeweiligen Pixel charakteristischen Specklemuster überlagern.

Vorteilhaft nutzt die erfindungsgemäße Bildgebereinheit mithin inhärente Variationen der Komponenten aus, um im Ergebnis ein Bild mit hoher Qualität ohne störende Helligkeits- oder Interferenzmuster zu erzeugen. Die Lichtquelle selbst kann hierbei eine hohe Kohärenz aufweisen – wie diese beispielsweise für holographische Anwendungen wünschenswert ist – ohne, dass störende Interferenzmuster (Speckle) wahrnehmbar sind. Zur Erzeugung einer bereits substanziellen Reduktion der wahrnehmbaren Specklemuster ist es weder notwendig, die Kohärenz des Lichtstrahles zu vermindern noch den Beleuchtungsstrahl zusätzlich abzulenken, zu (de-)fokussieren, zu rotieren oder durch einen Mikrolinsenarray zu führen. Stattdessen erfolgt die Speckle-Reduktion durch den bilderzeugenden Scanprozess auf einem Pixelarray - wie vorgehend beschrieben - selbst, ohne dass es zu einer Verminderung der Bildqualität kommt.

In dieser Hinsicht stellt die Erfindung eine Abkehr von bekannten Ansätzen der Technik dar. Im Falle der Verwendung von lichtmodulierenden Pixelarrays ist es im Stand der Technik üblich diese mittels aufgeweiteter, möglichst homogener Beleuchtungsstrahlen zu illuminieren.

Die Erzeugung des Bildes erfolgt durch eine pixelweise Modulation des aufgeweiteten Beleuchtungsstrahles, welcher den gesamten Pixelarray möglichst homogen beleuchtet.

Erfindungsgemäß ist es stattdessen bevorzugt vorgesehen, dass beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray die Beleuchtungsstrahlung eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray. Bevorzugt kann die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray beispielsweise eine laterale Ausdehnung aufweisen, welche um einen Faktor 5, 10, 100 oder mehr kleiner ist die laterale Ausdehnung des Pixelarrays. Hierdurch wird gewährleistet, dass im Scanvorgang der Beleuchtungsstrahlung über einen einzelnen Pixel eine Vielzahl von Specklemustern zur Erzeugung eines Bildpunktes generiert (und überlagert) werden. Für die Beleuchtungsstrahlung ist es mithin bevorzugt, dass diese gebündelt in Form eines Strahlenbündels auf den Pixelarray geführt wird. Die Begriffe Beleuchtungsstrahlung, Beleuchtungsstrahl oder Strahlenbündel werden bevorzugt synonym verwandt. Durch optische Komponenten wie z.B. Linsen kann die Beleuchtungsstrahlung entsprechend kollimiert oder fokussiert werden.

Die Specklereduktion kann vorteilhaft für verschiedenste Lichtquellen erreicht werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Beleuchtungsstrahlung eine kohärente Strahlung und/oder die Lichtquelle ein Laser. 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. Für holographische Anwendungen ist eine kohärente Beleuchtungsstrahlung wünschenswert, da nur auf diese Weise eine Rekonstruktion der Intensität und Phase des Wellenfeldes möglich ist. Nachteilig an einer kohärenten Bestrahlung ist das Auftreten unerwünschter Interferenzmuster bzw. Specklemuster. Kohärenz kann bevorzugt auch als Interferenzfähigkeit verstanden werden.

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 Ausbreitung 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.

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.

Laser können Kohärenzlängen im Mikrometerbereich, Meterbereich bis hin zum Kilometerbereich aufweisen. Typische Bereiche für die Verwendung von Lasern als Lichtquellen in Bildgebereinheiten sind beispielsweise zwischen 1 m - 100 m, wodurch sich die Laser einerseits hervorragend für holographische Abbildungen eignen und andererseits zu unerwünschten (Laser-)Specklemustern führen können.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Lichtquelle daher 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).

- 10 Im Sinne der Erfindung bezeichnen Laser bevorzugt Lichtquellen, welche Laserstrahlung aussenden, nicht abschließende Beispiele umfassen Festkörperlaser, vorzugsweise Halbleiterlaser bzw. Laserdioden, Gaslaser oder Farbstofflaser.

- Auch andere Lichtquellen, vorzugsweise kohärente Lichtquellen, können bevorzugt Verwendung finden. Bevorzugt sind schmalbandige Lichtquellen, vorzugsweise
15 monochromatische Lichtquellen, wozu beispielsweise Leuchtdioden (LEDs), optional in Kombination mit Monochromatoren gehören. LEDs weisen zumeist im Vergleich zu Lasern geringere Kohärenzlängen im Bereich von Millimetern oder Mikrometern auf.

- In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Bildgebereinheit zwei oder mehr Lichtquellen, vorzugsweise zwei oder mehr monochromatische Laser und/oder eine
20 polychromatische Lichtquelle mit einer Beleuchtungsstrahlung in zwei oder mehr Wellenlängenbereichen. Die von den zwei oder mehr Lichtquellen ausgesendete Beleuchtungsstrahlung wird bevorzugt auf einer gemeinsamen optischen Achse und mittels derselben Scaneinheit über das lichtmodulierende Pixelarray geführt. Es ist aber auch möglich, dass zwei oder mehr Lichtquellen über separate Scaneinheiten geführt werden.

- 25 Für eine farbliche Bildgebung kann es beispielsweise bevorzugt sein, eine Beleuchtungsstrahlung im roten Wellenlängenbereich (vorzugsweise 630 nm – 700 nm), im grünen Wellenlängenbereich (vorzugsweise 500 nm – 560 nm) und im blauen Wellenlängenbereich (vorzugsweise 450 nm – 475 nm) bereitzustellen.

- Besonders bevorzugt wird zu diesem Zweck ein Lasersystem mit drei monochromatischen
30 Lasern oder einem polychromatischen Laser mit einer Laseremission jeweils im roten, grünen oder blauen (RGB) Bereich bereitgestellt.

Zur Steuerung von Komponenten der Bildgebereinheit, wie des lichtmodulierenden Pixelarrays und/oder der Scaneinheit, umfasst die Bildgebereinheit bevorzugt eine Steuereinheit.

Die Steuereinheit ist bevorzugt geeignet zu diesem Zweck elektrische Steuersignale an die Komponenten auszugeben und/oder von diesen zu empfangen. Ohne Beschränkung kann die Steuereinheit beispielsweise einen Mikroprozessor, einen Mikrocomputer, eine integrierte Schaltung (IC), ein ASIC (engl. *application-specific integrated circuit*, deutsch
5 anwendungsspezifische integrierte Schaltung), eine programmierbare logische Schaltung (PLD), ein Field Programmable Gate Array (FPGA), eine speicherprogrammierbare Steuerung und/oder sonstige elektronische Schaltungselemente, z. B. Digital-Analog-Wandler, Analog-Digital-Wandler, Speicher und/oder (Signal-) Verstärker, umfassen.

Der Fachmann erkennt, dass bevorzugte Verfahrensschritte, welche im Zusammenhang mit
10 der Bildgebereinheit zur Erzeugung eines Bildes offenbart werden, bevorzugt von der Steuereinheit vorgenommen werden können. Bevorzugt kann zu diesem Zweck auf der Steuereinheit oder einer mit dieser verbundenen externen Datenverarbeitungseinheit eine entsprechende Software und/oder Firmware installiert vorliegen.

Ein Führen der Beleuchtungsstrahlung bzw. des Lichtstrahles über das Pixelarray erfolgt
15 bevorzugt mithilfe der Scaneinheit.

Bevorzugt ist die Scaneinheit (bzw. eine mit dieser verbundenen Steuereinheit) dafür eingerichtet, die Beleuchtungsstrahlung zeilen- oder spaltenweise über das gesamte Pixelarray zu führen. Die Scanfrequenz der Scaneinheit bezeichnet bevorzugt die Frequenz, mit der die Scaneinheit den gesamten Pixelarray abtastet bzw. die Frequenz, mit welcher die
20 Beleuchtungsstrahlung ein und dasselbe Pixel überstreicht. Eine Scanfrequenz von 25 Hz meint mithin bevorzugt, dass die Scaneinheit 25 Mal pro Sekunde das gesamte Pixelarray abtastet bzw. ein bestimmtes Pixel beim vorzugsweise zeilen- oder spaltenweisen Abtasten 25 Mal pro Sekunde überstreicht.

In bevorzugten Ausführungsformen beträgt die Scanfrequenz mehr als 20 Hz, bevorzugt mehr
25 als 25 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz oder mehr.

Für die Scaneinheit kommen verschiedene System in Betracht.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Scaneinheit einen oder mehrere Scanspiegel, welche bevorzugt um eine oder mehrere Achsen verkipptbar vorliegen.

Beispielsweise kann die Scaneinheit einen ersten Scanspiegel umfassen, wobei der erste

30 Scanspiegel um eine erste Achse verkipptbar ist, um die Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixel längs einer ersten Richtung (z.B. horizontal) zu führen und einen zweiten Scanspiegel, welcher um eine zweite Achse verkipptbar ist, um die Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixel längs einer zweiten Richtung (z.B. vertikal) zu führen. Bevorzugt kann es sich bei dem Scanspiegel um einen Galvanometerspiegel (beispielsweise mit kardanischer Aufhängung)
35 oder einen mikroeletktromechanischen Spiegel (MEMS) handeln. Für die Scaneinheit kann ein

einzelner Scanspiegel (mit Verkipfung in mindestens zwei Achsen) oder eine Kombination von zwei oder mehr Scanspiegeln Einsatz finden.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Scaneinheit einen oder mehrere Linsen und/oder ein Linsenarray, mittels derer eine Bewegung des Beleuchtungsstrahles auf dem Pixelarray steuerbar ist. Zu dem Zweck kann mindestens eine der Linsen translatierbar und/oder rotierbar vorliegen. Ebenso kann die Scaneinheit als strahlablenkende Elemente Prismen und/oder Wedges aufweisen.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Scaneinheit eines oder mehrere diffraktive optische Elemente, mittels derer eine Bewegung der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray steuerbar ist. Eine beispielhafte Scaneinheit umfassend diffraktive optische Elemente, welche als zwei dezentrierte diffraktive Fresnel-Linsen mit entgegengesetzten optischen Stärken ausgebildet sind, wird in Bawart et al. offenbart (Bawart et al. Dynamic beam-steering by a pair of rotating diffractive elements Optics Communications 460 (2020) 125071).

Auch andere Scansysteme sind denkbar. Beispielsweise kann die Verwendung eines akustooptischen Deflektors (AOD) bevorzugt sein. Ebenso können die verschiedenen Techniken selbstverständlich kombiniert werden.

Bevorzugt ist das lichtmodulierende Pixelarray (bzw. eine mit diesem verbundene Steuereinheit) dafür eingerichtet, eine Beleuchtungsstrahlung, welche auf das Pixelarray einfällt, pixelweise zu modulieren. Bei der Modulation handelt es sich bevorzugt um eine Intensitäts- und/oder Phasenmodulation der Beleuchtungsstrahlung. Die Modulation erfolgt pixelweise dahingehend, dass bevorzugt jeder Pixel des lichtmodulierenden Pixelarrays ansteuerbar ist, um einen Modulationszustand, d.h. eine definierte Intensitäts- und/oder Phasenmodulation für den Bereich des Pixels einzustellen. Der Pixelarray ist vorzugsweise ein zweidimensionaler, flächiger Lichtmodulator.

In bevorzugten Ausführungsformen weist der Pixelarray eine Vielzahl von Pixeln, vorzugsweise 100, 200, 500, 1000, 5000, 10 000, 50 000, 100 000, 500 000, 1 000 000 oder mehr Pixel auf.

Vorzugsweise sind die Pixel in einer Ebene bzw. Fläche angeordnet, welche vorzugsweise senkrecht zur optischen Achse steht, entlang deren sich die Beleuchtungsstrahlung im Wesentlichen ausbreitet.

Begriffe wie im Wesentlichen, ungefähr, etwa, ca. etc. beschreiben bevorzugt einen Toleranzbereich von weniger als $\pm 20\%$, bevorzugt weniger als $\pm 10\%$, besonders bevorzugt weniger als $\pm 5\%$, und insbesondere weniger als $\pm 1\%$ und umfassen stets den exakten Wert.

Ähnlich beschreibt bevorzugt Größen, die ungefähr gleich sind. Teilweise beschreibt bevorzugt zu mindestens 5 %, besonders bevorzugt zu mindestens 10 %, und insbesondere zu mindestens 20 % oder zu mindestens 40 %.

Die Vielzahl der Pixel sind in dem Pixelarray vorzugsweise matrixförmig angeordnet,

- 5 besonders bevorzugt kann eine zeilen- bzw. spaltenweise Anordnung der Pixel sein, welche beispielsweise zu einem rechteckigen Pixelarray mit einer horizontalen und vertikalen Ausdehnung führt. Ebenso sind auch andere Anordnungen der Pixel in dem Pixelarray, beispielsweise auf konzentrischen Kreisen denkbar.

Die Pixel können vorzugsweise eine rechteckige, quadratische oder rautenförmige Form

- 10 aufweisen, aber auch andere zwei- oder dreidimensionale Formen sind denkbar; z. B. kreisförmig, ovalförmig, dreieckig, polygonal etc.

Die Arrayfrequenz des Pixelarray bezeichnet bevorzugt die Frequenz, mit der das Pixelarray die Zustände sämtlicher Pixel des Pixelarrays zur Erzeugung eines Bildes ändern kann bzw.

- 15 die Frequenz, mit welcher ein Zustand eines einzelnen Pixels des Pixelarrays zur Erzeugung des Bildes geändert werden kann. Die Zustände der Pixel eines Pixelarrays können vorzugsweise simultan geändert werden. Es kann auch bevorzugt sein, die Zustände der Pixel einer Zeile und/oder Spalte des Pixelarrays simultan zu ändern oder die Zustände der einzelnen Pixel sukzessive zu ändern. Während im ersten Fall die Arrayfrequenz der Frequenz entspricht, mit welcher der Zustand sämtlicher Pixel simultan angesteuert wird, 20 entspricht die Arrayfrequenz in den beiden letzteren Fällen jener Frequenz, mit welcher die Zustände von Pixeln derselbe Zeile/Spalte geändert oder jener Frequenz, mit welcher der Zustand eines einzelnen Pixels zur Erzeugung des Bildes geändert wird.

In bevorzugten Ausführungsformen beträgt die Arrayfrequenz mehr als 20 Hz, bevorzugt mehr als 25 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz oder mehr.

- 25 Im Sinne der Erfindung bezeichnet die Bildwiederholfrequenz bevorzugt jene Frequenz, mit welcher mittels der Bildgebereinheit ein Bild pro Sekunde erzeugt werden kann.

Die Bildwiederholfrequenz entspricht bevorzugt dem Minimum aus Scanfrequenz und Arrayfrequenz. Bevorzugt ist die Scanfrequenz gleich oder ein (ganzzahliges) Vielfaches der Arrayfrequenz und/oder die Arrayfrequenz gleich oder eine (ganzzahlige) Vielfache der 30 Scanfrequenz.

Die Erzeugung eines Bildes mittels der Bildgebereinheit soll im Folgenden anhand eines nicht beschränkenden Beispiels verdeutlicht werden, bei welchem die Scanfrequenz gleich der Arrayfrequenz ist.

Beispielsweise kann es zur Erzeugung eines Bildes vorgesehen sein, dass der Zustand sämtlicher Pixel des Pixelarrays simultan mit einer Arrayfrequenz von 30 Hz geändert wird. Die Scaneinheit führt die Beleuchtungsstrahlung ebenfalls mit einer Scanfrequenz von 30 Hz über sämtliche Pixel des Pixelarray. D.h. die Scaneinheit tastet den gesamten Pixelarray mit einer Frequenz von 30 Hz ab bzw. überstreicht die Beleuchtungsstrahlung entsprechend ein und dasselbe Pixel mit einer Frequenz von 30 Hz. Der Zustand der jeweiligen Pixel, welche von der Beleuchtungsstrahlung mit einer Frequenz von 30 Hz überstrichen werden, ändert sich ebenfalls mit einer Arrayfrequenz von 30 Hz. Mithin wird ein Bildpunkt des zu erzeugenden Bildes mit einer Bildwiederholfrequenz von 30 Hz erzeugt bzw. definiert. Der Bildpunkt wird hierbei vorzugsweise während eines Scanvorgangs für eine Dauer erzeugt, während die Beleuchtungsstrahlung einen korrespondierenden Pixel des Pixelarrays bestrahlt bzw. diesen überstreicht. Mit jedem erneuten Scanvorgang kann in Abhängigkeit einer etwaigen Zustandsänderung der Pixel am Pixelarray ein veränderter Bildpunkt erzeugt bzw. definiert werden. Ist die Bildwiederholfrequenz wie im vorliegenden Fall hoch genug, führt die begrenzte Integrationszeit des Auges dazu, dass die sukzessive erzeugten Bildpunkte als kontinuierliche Bilder wahrgenommen werden.

Ein derartige Bilderzeugung durch Kombination einer Scaneinheit und eines Pixelarrays stellt eine Abkehr von bekannten Ansätzen des Standes der Technik dar, bei denen beispielsweise ein lichtmodulierenden Pixelarray mit einer aufgeweiteten im Wesentlichen homogenen Beleuchtungsstrahlung bestrahlt wird. In jenen Fällen ist die Bildwiederholfrequenz durch die Arrayfrequenz des Pixelarrays vorgegeben. Erfahren die Pixel eines Pixelarrays eine Zustandsänderung mit einer Frequenz von 30 Hz, wird ein entsprechendes Bild ebenfalls mit 30 Hz erzeugt. Bei einer aufgeweiteten im Wesentlichen homogenen Beleuchtungsstrahlung wird jeder Pixel dauerhaft bestrahlt.

Die erfindungsgemäße Einführung einer zusätzlichen Scaneinheit mit der die jeweiligen Pixel nicht dauerhaft bestrahlt werden, sondern bei dem die Beleuchtungsstrahlung in sich wiederholenden Scanvorgängen über den Pixelarray geführt wird, liegt für einen Fachmann nicht nahe, sondern erscheint vordergründig redundant.

Wie eingangs erläutert, wurde erfindungsgemäß jedoch erkannt, dass durch die Durchführung eines Scanvorgangs über das Pixelarray zur Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit und des Pixelarrays überlagert bzw. kombiniert werden. Während ein von der Scaneinheit geführter Beleuchtungsstrahl einen Pixel des lichtmodulierenden Pixelarrays überstreicht, werden in Abhängigkeit der Scanposition verschiedene Specklemuster, welche von der Scaneinheit resultieren, mit einem für den jeweiligen Pixel charakteristischen Specklemuster überlagert. Ein resultierender Bildpunkt ist vorteilhaft durch ein gemitteltes Specklemuster mit höherer räumlicher Frequenz

gekennzeichnet, welches für einen Betrachter nicht oder nur in reduziertem Maße wahrnehmbar ist. Erfindungsgemäß können verschiedene lichtmodulierende Pixelarrays in Betracht kommen.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist das lichtmodulierende Pixelarray ein

- 5 Flüssigkristalldisplay (engl. *liquid crystal display* LCD) und/oder eine Spiegelmatrix, vorzugsweise ein Mikrospiegelarray, beispielsweise ein *Digital Micromirror Device* (DMD). Auch andere Flächenlichtmodulator (engl. *spatial light modulator* SLM) können zum Einsatz kommen.

- 10 Im Stand der Technik ist eine Vielzahl von Flüssigkristalldisplays bekannt, welche für die Erfindung eingesetzt werden können.

- Im Allgemeinen basieren Flüssigkristalldisplays darauf, dass Flüssigkristalle in Abhängigkeit von einer angelegten Spannung die Polarisationsrichtung von Licht beeinflussen können. Durch eine pixelweise Modulation der Kristallorientierung kann somit eine polarisierte Beleuchtungsstrahlung pixelweise transmittiert oder absorbiert werden, um eine Bild zu
- 15 erzeugen. Beispielsweise kann das polarisierte Licht in einem Zustand des Flüssigkristalls um 90 Grad gedreht sein und in einem anderen Zustand nicht gedreht werden. Um ein LCD mit einem absorbierenden Zustand oder einem durchlässigen Zustand zu schaffen, kann auf jeder Seite des Flüssigkristalls ein Polarisator vorgesehen sein, so dass die Polarisationswinkel der Polarisatoren um 90 Grad versetzt sind.

- 20 Ein Flüssigkristalldisplay kann beispielsweise eine transparente Elektrode umfassen, die auf den Innenseiten von zwei Substraten in verschiedenen Anzeigemodi installiert ist, z.B. in einem *twist-nematischen* (TN) Anzeigemodus, in dem Flüssigkristallmoleküle mit positiver (+) dielektrischer Isotropie parallel zu den Substraten angeordnet und mit einer Winkeldifferenz von fast 90 Grad zwischen den Substraten verdreht sind, oder einem *super twist-nematischen*
- 25 (STN) Anzeigemodus, in dem die Flüssigkristallmoleküle ähnlich wie in einem TN-Anzeigemodus angeordnet, aber mit einer Winkeldifferenz von 180 bis 270 Grad zwischen den Substraten verdreht sind. Auch andere Anzeigetypen wie Triple Super-Twisted Nematic etc. sind denkbar. Erfindungsgemäß können eine Vielzahl verschiedener Flüssigkristalldisplays zum Einsatz kommen.

- 30 Ein Mikrospiegelarray ist vorzugsweise ein mikroeletromechanisches System (MEMS) umfassend eine Vielzahl von Mikrospiegeln zur dynamischen Modulation von Licht. Bei einer (Kipp-)Spiegelmatrix bzw. einem Mikrospiegelarray, vorzugsweise einem DMD, werden die Pixel durch die einzelnen (Mikro-)Spiegel gebildet, welche vorzugsweise diskrete Auslenkungen annehmen können. Die einzelnen Mikrospiegel der (Kipp-)Spiegelmatrix
- 35 können vorzugsweise elektrostatisch angesteuert werden und insbesondere zwischen

mindestens zwei (Kipp-)Zuständen wechseln, wobei bevorzugt ein Zustand eine Ablenkung der Beleuchtungsstrahlung zu einem Bildpunkt auf dem zu erzeugenden Bild bewirkt und ein anderer Zustand eine Ablenkung der Beleuchtungsstrahlung außerhalb des zu erzeugenden Bildes bewirkt, beispielsweise auf einen Absorber.

- 5 DMDs können unterschiedlich konstruiert sein. Beispielsweise können die Spiegel mit einem darunter liegenden Joch verbunden sein, wobei das Joch wiederum über zwei dünne, mechanisch nachgiebige Torsionsscharniere mit Stützpfeuern verbunden ist, welche auf dem darunter liegenden Substrat befestigt sind. Elektrostatische Felder, die zwischen einer darunter liegenden Speicherzelle (z.B. SRAM), dem Joch und dem Spiegel entstehen, können
10 eine positive oder negative Kipprichtung bewirken.

Vorteilhaft führt die inhärente Variation der Specklesignaturen der bevorzugt genannten Scaneinheiten und Pixelarrays zu einer deutlichen Reduktion von Speckle. Ein bevorzugter Parameter, um die Speckle-Reduktion anwendungsabhängig zu reduzieren, stellt zudem die laterale Ausdehnung des Beleuchtungsstrahles auf dem Pixelarray dar.

- 15 In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray eine (maximale) laterale Ausdehnung auf, welche um einen Faktoren 5, 10, 100 oder mehr kleiner ist als eine (minimale) laterale Ausdehnung des Pixelarrays.

- In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray eine (maximale) laterale Ausdehnung von weniger als 50, 30, 20, 10, 5, 4, 3, 2
20 oder weniger als einem Pixel auf. Es kann auch bevorzugt sein, dass die maximale laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray beispielsweise nur einen Faktor 0,8; 0,5; 0,2 oder weniger der Größe eines Pixels beträgt. Ebenso kann es auch bevorzugt sein, dass die maximale laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray mehr als ein Pixel oder mehr als 2, 3, 4, 5, 10 oder mehr Pixel
25 beträgt.

In bevorzugten Ausführungsformen kann die maximale laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray eine Größe aufweisen, welche zwischen einem 0,2fachen und 50fachen der Größe eines Einzelpixels beträgt.

- Für die Beleuchtungsstrahlung ist es bevorzugt, dass diese gebündelt in Form eines
30 Strahlenbündels auf den Pixelarray geführt wird. Die laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray ist bevorzugt durch die Halbwertsbreite (Full Width Half Maximum, FWHM) der Lichtintensität gegeben. Die laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray entspricht somit bevorzugt der Spotgröße (FHMW) der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray.

Die laterale Ausdehnung des Pixelarrays bezeichnet bevorzugt eine minimale Ausdehnung entlang der Ebene des flächigen Pixelarrays (gemessen durch den Flächenschwerpunkt). Im Falle eines quadratischen Pixelarrays entspricht die minimale laterale Ausdehnung bevorzugt einer Länge des Quadrates. Im Falle einer Rechteckform des Pixelarrays entspricht die

5 minimale laterale Ausdehnung bevorzugt der kleineren der beiden Längen des Rechteckes. Für einen kreisförmigen Pixelarray ist die laterale Ausdehnung bevorzugt durch den Durchmesser gegeben.

Die vorgenannten bevorzugten Größen zeigen besonders gute Ergebnisse im Hinblick auf eine Reduktion von Specklemustern im erzeugten Muster. Einerseits ist die Größe der

10 auftreffenden Beleuchtungsstrahlung hinreichend klein, um zu gewährleisten, dass zur Erzeugung eines Bildpunktes (korrespondierend zu einem Pixel des Pixelarrays) eine Vielzahl von Specklesignaturen (resultierend aus unterschiedlichen Scanpositionen des Scansystems) mit der Specklesignatur eines jeweiligen Pixels überlagert werden. Andererseits ist die Größe der auftreffenden Beleuchtungsstrahlung nicht zu gering, als dass die Specklesignaturen vom

15 Scansystem und Pixelarray keine wirksame Mittelung erfahren.

Ein Fachmann weiß, durch Verwendung optischer Komponenten ein gewünschtes Strahlprofil beim Auftreffen der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray zu gewährleisten.

In einer bevorzugten Ausführungsform liegt im Strahlengang vor dem Pixelarray eine oder mehrere Linsen und/oder ein Linsenarray vor, mittels derer die laterale Ausdehnung der

20 Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf den Pixelarray eingestellt wird, vorzugsweise mittels derer eine kleinere Spotgröße der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray gewährleistet werden kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform liegt im Strahlengang zwischen der Scaneinheit und dem Pixelarray eine oder mehrere Linsen vor, mittels derer gewährleistet wird, dass die

25 Beleuchtungsstrahlung unabhängig von dem Auftreffpunkt auf dem Pixelarray mit einem konstanten Einfallswinkel auf das Pixelarray geführt wird. Die eine oder mehrere Linsen kann bevorzugt eine diffraktive, eine refraktive oder eine Fresnel-Linse sein. In einer bevorzugten Ausführungsform kann die eine oder mehrere Linsen derart positioniert werden, dass sich die Scaneinheit im objektseitigen Brennpunkt der Linse befindet (vgl. Abb. 11). Der Abstand

30 zwischen Scaneinheit und der einen oder den mehreren Linsen kann zudem variiert werden, um eine gewünschte Abstrahlcharakteristik einzustellen.

Die inhärente Variation der Specklesignaturen handelsüblicher Scaneinheiten und Pixelarrays führt vorteilhaft bereits zu einer deutlichen Abnahme wahrnehmbarer Specklestrukturen bzw. -muster im erzeugten Bild. Der Begriff der Specklesignatur kennzeichnet im Sinne der

35 Erfindung bevorzugt die Eigenschaft der Komponenten der Bildgebereinheit im erzeugten Bild

charakteristische Specklemuster zu generieren. Wie eingangs erläutert, werden als Specklemuster insbesondere die körnigen Interferenzphänomene bezeichnet, die sich bei hinreichend kohärenter Beleuchtung optisch rauer Objektoberflächen beobachten lassen. Zur Erzeugung eines Bildpunktes können hierbei vorteilhaft eine Vielzahl von Specklesignaturen des Scansystems (resultierend aus unterschiedlichen Scanpositionen) mit der Specklesignatur eines jeweiligen Pixels (in Abhängigkeit von dessen Zustandswert) überlagert werden.

Um die Specklereduktion weiter zu verstärken, kann es bevorzugt sein, für die Beleuchtungsstrahlung eine zusätzliche Phasenvariation durch die Scaneinheit und/oder durch das Pixelarray einzuführen.

- 10 In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit dafür eingerichtet, durch das Pixelarray und/oder die Scaneinheit eine zusätzliche Phasenvariation der Beleuchtungsstrahlung zu bewirken. Hierdurch kann eine Vergrößerung einer Variation einer Specklesignatur des Pixelarrays und/oder der Scaneinheit erreicht werden.

- 15 Zur Vergrößerung einer Variation einer Specklesignatur des Pixelarrays und/oder der Scaneinheit kommen verschiedene Ansätze in Betracht.

- In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit für eine zusätzliche Modulation des Pixelzustandes pro erzeugtem Bild eingerichtet, wobei bevorzugt eine Modulationsfrequenz des Pixelzustandes einen Faktor 2, 4 oder mehr höher ist, als eine Bildwiederholungsrate der Bildgebereinheit. Der Ausdruck, dass die Bildgebereinheit
20 eingerichtet ist, meint bevorzugt, dass eine von der Bildgebereinheit umfasste Steuereinheit zur Ausführung der benannten Verfahrensschritte (hier: Modulation des Pixelzustandes) eingerichtet ist und beispielsweise zu diesem Zweck auf der Steuereinheit und/oder einer mit dieser verbundenen externen Datenverarbeitungsvorrichtung eine entsprechende Software und/oder Firmware installiert vorliegt.

- 25 Analog zu einer Amplitudenmodulation z.B. bei Lichtquellen kann der Zustand eines Einzelpixels mehrmals geändert werden, während das Auge die Bilder aufaddiert. Vorzugsweise sollte eine Modulationsfrequenz der Pixelzustände derart hoch sein, dass das Auge die Einzelbilder nicht unterscheiden kann. Vorzugsweise ändert ein Pixel innerhalb der gewünschten Bildwiederholfrequenz mehrmals (z.B. 2, 4, 6 oder mehr) seinen Zustand. Unter
30 der Voraussetzung, dass die Bildwiederholfrequenz bzw. die Frequenz der Zustandsänderung hinreichend groß ist, ändert der Pixel mithin innerhalb der Integrationszeit des Auges mehrmals seinen Zustand. Der pro Bild wahrgenommene Zustand entspricht vorzugsweise dem Mittelwert aller Pixelzustände innerhalb der Bildwiederholungsfrequenz. Beispielhaft ist dies in der Abb. 3 dargestellt, wobei in der gezeigten Ausführungsform der Zustand des Pixels

innerhalb der Integrationszeit des Auges bzw. innerhalb der gewünschten Bildwiederholfrequenz (t_{int}) 4 Mal seinen Zustand ändert.

Bei einem Flüssigkristalldisplay kann zur Umsetzung einer Modulationsfrequenz des Pixelzustandes beispielweise eine zeitliche Abfolge verschiedener Phasen- bzw.

- 5 Amplitudenwerte für einen Pixel vorgeben werden, welche erst zeitlich integriert über die Bildwiederholrate den für das erzeugte Bild gewünschte Phasen- bzw. Amplitudenwert ergeben.

- Die Arrayfrequenz entspricht in der bevorzugten Ausführungsform einem ganzzahligen Vielfachen der Bildwiederholungsfrequenz, wobei das ganzzahlige Vielfache einem Faktor, 10 beispielsweise 2, 4, 6 oder mehr entspricht, mit dem der Pixelzustand während der Erzeugung eines Bildpunktes verändert wird.

Die Scanfrequenz sollte vorzugsweise mindestens der Modulationsfrequenz des Pixelzustandes entsprechen oder ein ganzzahliges Vielfaches der Modulationsfrequenz des Pixelzustandes darstellen.

- 15 Beispielsweise kann bei einer Arrayfrequenz von 120 Hz und einer Scanfrequenz von 120 Hz die Bildwiederholungsfrequenz auf 60 Hz sinken, sofern jeder Pixel zwei verschiedene Zustände pro erzeugtem Bild annimmt, bei 4 verschiedenen Zuständen sinkt die Bildwiederholungsfrequenz auf 30 Hz.

- In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit für eine zusätzliche 20 Modulation der Scaneinheit zur Phasenvariation der Beleuchtungsstrahlung eingerichtet, wobei bevorzugt eine Modulationsfrequenz der Scaneinheit einen Faktor 2, 4, 6 oder mehr höher ist, als eine Bildwiederholungsrate der Bildgebereinheit und/oder wobei bevorzugt eine oder mehrere Komponenten der Scaneinheit durch einen Aktuator zu Schwingungen angeregt werden.

- 25 Für die Scaneinheit kann ein ähnlicher zusätzlicher Effekt der Specklereduktion erreicht werden, wenn schneller als das Auge es auflösen kann, der Beleuchtungsstrahlung zusätzlich verschiedene Phasenwerte aufgeprägt werden.

- Bevorzugt können zu diesem Zweck eine oder mehrere Komponenten der Scaneinheit durch einen Aktuator zu Schwingungen angeregt werden. Vorzugsweise liegt der Aktuator zu 30 diesem Zweck zu mindestens einer Komponente der Scaneinheit mechanisch gekoppelt vor und ist dafür eingerichtet die Komponenten in Schwingungen bzw. Vibrationen zu versetzen. Der Aktuator kann beispielsweise ein elektrostatischer, piezoelektrischer, elektromagnetischer und/oder thermischer Aktuator sein. Vorzugsweise kann der Aktuator auch als MEMS-Aktuator und somit äußerst kompakt ausgeführt vorliegen. Entsprechende Aktuatoren, wie

piezoelektrische oder mikromechanische Modulatoren, sind im Stand der Technik bekannt. Beispielsweise können auch Schwingquarze als Frequenzgeber für einen Aktuator eingesetzt werden oder als Aktuator selbst fungieren.

Im Fall eines Scansystem umfassend einen oder mehrere Scanspiegel, können mittels einer oder mehrere Aktuatoren beispielsweise die Spiegelflächen der Scanspiegel zu Schwingungen angeregt werden. Die Schwingungsanregung durch den Aktuator kann in der Spiegelebene (vgl. Abb. 4) und/oder senkrecht dazu (vgl. Abb. 5) erfolgen. Ebenso können Linsen, Wedges, Prismen oder andere Komponenten bevorzugter Scaneinheiten zu Schwingungen angeregt werden.

Vorteilhaft führen die mechanischen Schwingungen der Komponenten der Scaneinheit zu einer zusätzlichen Änderung bzw. Modulation der Specklesignatur für eine jeweilige Scanposition (Auftrittspunktes der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray). Im Falle der Schwingungsanregung eines Scanspiegel oder einer Linse schwingen die Oberflächen und mithin mikroskopische Rauheiten der Oberflächen mit der zusätzlichen mechanischen Modulationsfrequenz, sodass sich das Specklemuster bzw. die Specklesignatur auf dem Pixelarray mit jener Modulationsfrequenz auch für eine gleichbleibende Scanposition ändert.

Die zusätzliche Modulationsfrequenz der Scaneinheit kann vorzugsweise höher oder niedriger sein, als die Scanfrequenz der Scaneinheit oder die Arrayfrequenz des Pixelarrays. Vorzugsweise sollte die zusätzliche Modulationsfrequenz der Scaneinheit (z.B.

Schwingungsfrequenz einer Komponente der Scaneinheit) höher als die Bildwiederholfrequenz sein, vorzugsweise um einen Faktor von 2, 4, 6, 8, 10 oder mehr.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Bildgebereinheit zusätzlich im Strahlengang zwischen Lichtquelle und lichtmodulierendem Pixelarray, vorzugsweise im Strahlengang zwischen Scaneinheit und lichtmodulierendem Pixelarray einen oder mehrere Diffusoren auf.

Ein Diffusor ist bevorzugt ein optisches Element, welches dem Beleuchtungsstrahl eine zusätzliche randomisierte bzw. stochastische Phase aufträgt. Bevorzugt weist ein Diffusor eine Vielzahl zufällig verteilter Streuzentren auf, an denen Lichtstrahlen in unterschiedliche Richtungen gestreut werden.

Wie in Abb. 8 illustriert, bewirkt ein Diffusor mithin bevorzugt eine Durchmischung einzelner Strahlen einer ggf. kollimierten Beleuchtungsstrahlung, welche auf den Diffusor an verschiedenen Auftreffpunkten auftreffen. Hierdurch kann eine Kohärenzlänge der Beleuchtungsstrahlung zusätzlich vermindert werden. Die Diffusoren können als optische Elemente mit randomisierter Phase oder auch als ein oder mehrere Linsenarrays ausgebildet sein. Bevorzugt können die Diffusoren auch derart beschaffen sein, dass ihre

Abstrahlcharakteristik abhängig von der lateralen Position auf dem Diffusor variiert. Dadurch kann die Abstrahlcharakteristik des Gesamtsystems modifiziert werden, um z.B. eine größere oder kleinere Eyebbox zu generieren.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Diffusor ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Linsenarray, refraktiver und/oder diffraktiver Diffusor.

Der Diffusor kann eine Oberflächenstreuung und/oder Volumenstreuung bewirken. Der Diffusor kann sowohl als ein reflektives oder als ein transmissives optisches Element ausgebildet sein.

Im Falle einer Oberflächenstreuung erfolgt die Streuung der Beleuchtungsstrahlung bevorzugt an der Oberfläche des Diffusors, welche zu diesem Zweck vorzugsweise entsprechend behandelt wurde. Beispielsweise kann eine Scheibe aus einem transparenten Material (beispielsweise Glas) mechanisch, chemisch und/oder optisch behandelt werden, um als Diffusor zu wirken (vgl. u.a. US 4,035,068 für die Bereitstellung einer Diffusionsscheibe aus Glas durch Schleifen und Ätzen einer Oberfläche). Mittels einer Mikrostrukturierung der Oberfläche transparenter Materialien kann zudem eine gewünschte Diffusor-Wirkung präzise vorgeben werden.

Ein transmissives Diffusionselement kann vorzugsweise auch für eine Volumenstreuung ausgebildet sein, wobei vorzugsweise ein im Wesentlichen transparentes Material Streuzentren, beispielsweise transparente und/oder intransparente Partikel, umfasst, an denen die Beleuchtungsstrahlung phasen- und/oder amplitudenmoduliert wird. Im Falle einer Volumenstreuung ist es bevorzugt einen dünn-schichtigen Diffusor zu verwenden, sodass wie beschrieben eine Reduktion von Specklemustern erreicht werden kann, ohne dass jedoch die Leistung stark gemindert würde.

Ein Maß für das Streuvermögen eines Diffusors und mithin der Durchmischung einzelner Strahlen ist der Diffusionswinkel. In bevorzugten Ausführungsformen beträgt der Diffusionswinkel des einen oder der mehreren Diffusoren zwischen $0,5^\circ$ und 35° , vorzugsweise zwischen 1° und 20° , besonders bevorzugt zwischen 1° und 10° .

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist die Bildgebereinheit zwei oder mehr Diffusoren auf, welche vorzugsweise nacheinander mit einem räumlichen Abstand im Strahlengang angeordnet vorliegen. Die besonders bevorzugte Ausführungsform führt zu einer nochmals verbesserten Reduktion von Speckle- und/oder Interferenzmustern.

Vorteilhaft wird, wie in Abb. 8 gezeigt, hierbei ausgenutzt, dass die Beleuchtungsstrahlung, welche zunächst an einem ersten Diffusor gestreut wird, an einem zweiten Diffusor bereits an mehreren, verschiedenen Auftreffpunkten auf den zweiten Diffusor auftrifft. Hierdurch werden

mehrere Specklemuster zeitgleich überlagert. Die Anzahl der überlagerten Strahlenbündel bzw. Specklemuster auf dem Pixelarray (sowie in der Bildebene) ist um ein Vielfaches höher, als es mit nur einem Diffusor der Fall wäre. Die Anordnung der Diffusoren entlang der optischen Achse hintereinander und mit einem räumlichen Abstand führt mithin zu einer

5 Potenzierung der Überlagerung einzelner Strahlen. Ist die räumliche Frequenz der überlagerten Specklemuster hinreichend hoch, können diese vom Auge nicht aufgelöst werden und stören somit nicht die Bildqualität.

In bevorzugten Ausführungsformen beträgt der Diffusionswinkel des ersten und/oder zweiten Diffusors zwischen $0,5^\circ$ und 35° , vorzugsweise 1° und 20° , besonders bevorzugt zwischen 1°

10 und 10° . Der räumliche Abstand zwischen ersten und zweiten Diffusor beträgt bevorzugt zwischen 0,5 mm und 100 mm, vorzugsweise 1 mm bis 50 mm.

Die Bildgebereinheit kann sowohl als Display als auch Projektor ausgebildet sein.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit als ein Display ausgebildet, wobei das lichtmodulierende Pixelarray einen Displayschirm bildet und/oder wobei das von

15 dem lichtmodulierende Pixelarray erzeugte Bild auf einen (semi-)transparenten Displayschirm projiziert wird. In der bevorzugten Ausführungsform kann das vom Pixelarray erzeugte Bild mithin direkt im Durchlicht betrachtet werden (vgl. Abb. 10) oder aber das vom Pixelarray erzeugte Bild wird auf einen transparenten oder semitransparenten Displayschirm abgebildet, welcher im Durchlicht betrachtet werden kann.

20 In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit als ein Projektor ausgebildet, wobei das von dem lichtmodulierenden Pixelarray erzeugte Bild auf einen reflektierenden, vorzugsweise diffus reflektierenden, Projektionsschirm projiziert wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Bildgebereinheit für ein Head-Up-Display (HUD) verwendet. HUDs können volumenholographische Optiken enthalten, bei denen es sich

25 um beugende Gitterstrukturen handelt, die eine starke Wellenlängenabhängigkeit (Dispersion) aufweisen. Der Betrachtungswinkel des HUDs ändert sich dadurch mit der Wellenlänge, was in einer Unschärfe des HUD bei breitbandiger Beleuchtung resultiert. Eine Bildgebereinheit für ein solches HUD sollte daher möglichst schmalbandige Spektrallinien aufweisen. Vorteilhaft kann mithilfe der erfindungsgemäßen Bildgebereinheit eine schmalbandige, vorzugsweise

30 monochromatische Beleuchtungsstrahlung bereitgestellt werden, ohne dass die damit einhergehende Kohärenz zu nachteiligen Interferenzeffekten bzw. Specklemuster führt.

Für die Anordnung der Bildgebereinheit umfassend Scaneinheit, lichtmodulierendes Pixelarray sowie möglichen weiteren optischen Komponenten zur Formung und/oder Führung der Beleuchtungsstrahlung sind verschiedene Möglichkeiten denkbar.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Bildgebereinheit einen für die Beleuchtungsstrahlung transparenten Substratkörper mit einer Einkoppelfläche auf, über welche die Beleuchtungsstrahlung innerhalb des transparenten Substratkörpers zu einer Rückfläche gelenkt wird, an welcher ein Umlenkelement positioniert vorliegt, wobei das Umlenkelement derart ausgebildet ist, dass die auftreffende Beleuchtungsstrahlung in Richtung einer Vorderfläche des Substratkörpers umgelenkt wird, durch welche die Beleuchtungsstrahlung auf das lichtmodulierende Pixelarray austritt.

Die Ausführungsform hat sich als besonders kompakt erwiesen. Insbesondere kann der Bauraum, den die Bildgebereinheit senkrecht zum lichtmodulierenden Pixelarray einnimmt, stark reduziert werden. Vorzugsweise ist der Bauraum senkrecht zum Pixelarray im Wesentlichen durch die Beabstandung der Rück- und Vorderfläche des transparenten Substratkörpers vorgegeben, welche vorzugsweise im Vergleich zur lateralen Ausdehnung des Pixelarrays (d.h. beispielsweise einer Höhe und/oder Breite) äußerst klein gehalten werden kann. In bevorzugten Ausführungsformen kann der Abstand zwischen der Vorder- und Rückfläche des transparenten Substratkörpers, um einen Faktor 5, 10, 50 oder mehr kleiner sein als eine maximale laterale Ausdehnung des Pixelarrays (d.h. z.B. einer Höhe und/oder Breite).

Die Rück- und/oder Vorderfläche des transparenten Substratkörpers können als plane Flächen ausgebildet sein. So kann der transparente Substratkörper beispielsweise in der Grundform als planparallele Platte bzw. Quader vorliegen. Es ist jedoch auch möglich, dass Vorder- und/oder Rückfläche gekrümmt ausgebildet sind.

Als Grundform weist der transparente Substratkörper vorzugsweise die Form eines Quaders auf mit einer Rück- und Vorderfläche, welche parallel zueinander ausgerichtet vorliegen. Vorzugsweise ist die Dicke des Quaders, d.h. die Beabstandung der Rück- und Vorderfläche, deutlich kleiner als eine Höhe und/oder Breite der Rück- und/oder Vorderfläche, welche vorzugsweise an die Dimensionierung des Pixelarray angepasst sind. Beispielsweise kann die Dicke des Quaders um einen Faktor 5, 10, 50 oder mehr kleiner sein als dessen Höhe und/oder Breite. Der Substratkörper ist vorzugsweise im Wesentlichen transparent in Bezug auf die Wellenlänge(n) der Beleuchtungsstrahlung.

Bevorzugt umfasst der Substratkörper ein Material, welches ein optischer Kunststoff ist, vorzugsweise ausgewählt 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, B270, N-BK7, N-SF2, P-SF68, P-SK57Q1, P-SK58A und/oder P-BK7.

Die Bildgebereinheit ist vorzugsweise dazu eingerichtet, dass die durch die Lichtquelle erzeugte Beleuchtungsstrahlung mittels der Scaneinheit – wie beschrieben vorzugsweise in Form eines Strahlenbündels – auf die Einkoppelfläche abgelenkt und durch den Substratkörper in Richtung des Umlenkelementes geführt wird.

- 5 Die Einkoppelfläche kann vorzugsweise eine Form aufweisen, welche es gewährleistet, dass die Beleuchtungsstrahlung beim Eintritt in den transparenten Substratkörper eine möglichst geringe Ablenkung und/oder Aberration erfährt. Beispielsweise kann es bevorzugt sein, dass die Einkoppelfläche eine konkave Form aufweist, welche es gewährleistet, dass die von der Scaneinheit geführte Beleuchtungsstrahlung für unterschiedliche Scanpositionen unter einem
- 10 im Wesentlichen senkrechten Einfallswinkel zur Einkoppelfläche in den Substratkörper eintritt (vgl. Abb. 12).

- Im transparenten Material des Substratkörpers trifft die Beleuchtungsstrahlung auf das Umlenkelement, welches vorzugsweise direkt auf einer Rückfläche des Substratkörpers aufgebracht sein kann. Das Umlenkelement lenkt die Beleuchtungsstrahlung bevorzugt in
- 15 Richtung einer gegenüber gelegenen Vorderfläche des transparenten Substratkörpers. Durch die Vorderfläche tritt die Beleuchtungsstrahlung aus dem Material aus und trifft auf das Pixelarray.

- In bevorzugten Ausführungsformen ist das Umlenkelement ein Umlenkhologramm, welches vorzugsweise als Volumenhologramm, reflektives und/oder transmissives Hologramm
- 20 ausgebildet ist. Das Umlenkelement kann vorzugsweise auch durch ein mikrostrukturiertes diffraktives Element und/oder auch durch eine (strukturierte) Spiegelfläche gebildet werden.

- Im Falle eines diffraktiven Umlenkelementes, beispielsweise einem Umlenkhologramm, kann ungebeugtes Licht der Beleuchtungsstrahlung der nullten Beugungsordnung, aber auch Licht der Beleuchtungsstrahlung welches in andere Beugungsordnungen als der für die
- 25 Umlenkrichtung gewünschten gebeugt wird, als Störlicht im transparenten Substratkörper propagieren.

- Während beispielsweise ein diffraktives Umlenkelement dafür eingerichtet ist, die Beleuchtungsstrahlung mit einer n-ten Ordnung in Richtung des Pixelarrays zu führen, bezeichnet im Sinne das Störlicht bevorzugt ungebeugtes Licht der Beleuchtungsstrahlung der
- 30 nullten Beugungsordnung, aber auch ein von der n-ten verschiedenen Beugungsordnung.

- In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Bildgebereinheit dafür eingerichtet sein, dass Störlicht eines diffraktiven Umlenkelementes mindestens teilweise auf das Pixelarray geführt wird. Vorteilhaft kann durch das Störlicht Licht auf weitere Auftreffpunkte auf dem Pixelarray geführt werden, wobei die zusätzliche Überlagerung eine weitere Reduktion der sichtbaren
- 35 Specklemuster bewirken kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Bildgebereinheit auch dafür eingerichtet sein, dass Störlicht eines diffraktiven Umlenkelementes eine Oberfläche des Substratkörpers verlässt, ohne auf das Pixelarray zu treffen. Beispielsweise kann ein Scanwinkelbereich des Scansystems zu diesem Zweck derart vorgegeben werden, dass ein Verlassen des Störlichtes außerhalb des Bereiches des Pixelarrays gewährleistet wird. Ebenso kann es bevorzugt sein, dass die Einkoppelfläche derart gestaltet wird, dass die Beleuchtungsstrahlung unabhängig von der Scanposition unter einem gleichen Einfallswinkel auf das Umlenkelement auftrifft. Zu diesem Zweck kann es beispielsweise bevorzugt sein, eine Freiformoptik, eine bikonische Linse, rotationssymmetrische Linse und/oder refraktive oder diffraktive Elemente, zu verwenden. Weiterhin kann ebenso die Rückfläche des transparenten Substratkörpers, auf die das Umlenkelement aufgebracht wird, angepasst werden – beispielsweise mit einer konvexen Form - um das Störlicht vom Pixelarray wegzulenken (vgl. Abb. 15).

Bevorzugt können auch für die vorgenannten kompakt ausgebildeten Bildgebereinheiten einer oder mehrere Diffusoren eingebracht werden, um eine Sichtbarkeit von Specklemustern weiter zu reduzieren. Die einen oder mehreren Diffusoren können vorzugsweise zwischen Scaneinheit und transparentem Substratkörper, zwischen transparentem Substratkörper und Pixelarray, zwischen Lichtquelle und Scaneinheit oder zwischen Umlenkelement und transparentem Substratkörper liegen.

Detaillierte Beschreibung

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

Kurzbeschreibung der Abbildungen

Abb. 1 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Bildgebereinheit.

Abb. 2 Schematische Illustration von Specklesignaturen a) des Pixelarrays und b) der Scaneinheit sowie deren Überlagerung für c) eine Scanposition und d) einen Bildpunkt.

Abb. 3 Schematische Illustration einer Vergrößerung der Variation der Specklesignatur des Pixelarrays durch zusätzliche Modulation des Pixelzustandes pro erzeugtem Bild.

Abb. 4, 5 Schematische Illustration einer Vergrößerung der Variation der Specklesignatur der Scaneinheit durch Schwingungsanregung eines Scanspiegels entlang der Spiegelebene (Abb. 4) oder senkrecht zur Spiegelebene (Abb. 5).

- Abb. 6** Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem Diffusor im Strahlengang.
- Abb. 7** Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit zwei Diffusoren im Strahlengang.
- 5 **Abb. 8** Schematische Illustration einer Überlagerung einer Vielzahl von Strahlenbündeln durch Verwendung zweier Diffusoren im Strahlengang.
- Abb. 9** Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einer Linse zur Gewährleistung konstanter Einfallwinkel der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray.
- 10 **Abb. 10** Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, welche als ein Display ausgebildet ist.
- Abb. 11** Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, welche als ein Projektor ausgebildet ist.
- Abb. 12** Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem reduzierten Bauraum senkrecht zum Pixelarray.
- 15 **Abb. 13** Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem reduzierten Bauraum senkrecht zum Pixelarray bei dem Störlicht auf das Pixelarray geführt wird.
- Abb. 14-16** Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem reduzierten Bauraum senkrecht zum Pixelarray bei dem ein Auftreffen von Störlicht auf dem Pixelarray vermieden wird durch Vorgabe des Scanwinkels (Abb. 14), Formung des Umlenkelementes (Abb. 15) oder Gestaltung der Einkoppelfläche (Abb. 16).
- 20

Detaillierte Beschreibung der Abbildungen

- 25 Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Bildgebereinheit.

Die Bildgebereinheit umfasst mindestens eine Lichtquelle **1** zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung **2**, welche vorzugsweise als Strahlenbündel auf einer optischen Achse geführt wird. Mittels einer Scaneinheit **3** wird die Beleuchtungsstrahlung **2** zur Erzeugung eines Bildes über ein lichtmodulierendes Pixelarray **4** geführt. Die Lichtquelle **1** kann ein System aus mehreren, vorzugsweise monochromatischen Lasern sein, die durch weitere optische Komponenten auf eine gemeinsame optische Achse gelenkt werden. Der

30

Durchmesser des Strahlenbündels der Beleuchtungsstrahlung **2** beim Auftreffen auf das Pixelarray **4** kann größer oder kleiner als die Größe eines Einzelpixels sein, aber ist kleiner als das gesamte Pixelarray **4**.

Zur Reduktion von Specklemustern nutzt die erfindungsgemäße Bildgebereinheit aus, dass sowohl die Scaneinheit **3** als auch das lichtmodulierende Pixelarray **4** für unterschiedliche Scanpositionen bzw. Pixelzustände charakteristische Specklesignaturen aufweisen.

Vorteilhaft werden im Scanvorgang bei der Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit **3** und des Pixelarrays **4** überlagert bzw. kombiniert, sodass im erzeugten Bild sichtbare bzw. wahrnehmbare Specklemustern reduziert werden.

Abbildung 2 illustriert schematisch die Specklesignaturen des Pixelarrays **4** und der Scaneinheit **3** sowie deren Überlagerung. Abb. 2a) illustriert eine Specklesignatur eines Pixels des lichtmodulierenden Pixelarrays **4**. Die Specklesignatur eines Pixels kann beispielsweise von der Oberflächenbeschaffenheit und/oder dem Ansteuerungszustand (z.B. einer Kristallausrichtung eines LCD-Displays) abhängen. D_x bezeichnet die Größe des Pixels in Scanrichtung. Abb. 2b) illustriert eine Specklesignatur einer Scaneinheit **3** für eine bestimmte Scanposition (dx). Im Falle einer spiegelbasierten Scaneinheit **3** kann die Specklesignatur beispielsweise von einer Oberflächenbeschaffenheit einer Spiegelfläche **5** abhängen.

Für sich genommen sind die Specklesignaturen des Pixelarrays (Abb. 2a) oder der Scaneinheit (Abb. 2b) durch ausgeprägte Minima und Maxima gekennzeichnet, welche vom Betrachter als Helligkeitsunterschiede bzw. Körnung im erzeugten Bildpunkt bzw. Bild wahrgenommen werden können.

Abb. 2c) illustriert eine Überlagerung der Specklesignatur der Scaneinheit **3** mit der des Pixelarrays **4** für eine bestimmte Scanposition. Dies führt bereits zu einer höheren räumlichen Frequenz des Specklemusters und mithin geringerer Sichtbarkeit. Eine besonders deutliche Reduktion der Specklemuster wird dadurch erzielt, dass beim Überstreichen eines Einzelpixels für ein und denselben Bildpunkt eine Vielzahl von Specklemustern (in Abhängigkeit der Scanposition) generiert und mit der Specklesignatur des Pixels überlagert werden.

Bei einem schrittweisen Scanvorgang ist die Anzahl der überlagernden Specklemuster gleich der Anzahl der Scanschritte. Bei einer analogen Bewegung ist die Zahl der Specklemuster infinit mit einer geringeren Variation zwischen einzelnen Specklemustern. Bei hinreichender Scanfrequenz kann das menschliche Auge diese Einzelmuster nicht mehr unterscheiden. Dabei werden alle Specklemuster, die vom Auge zeitlich nicht unterschieden werden können, addiert. Abb. 2d) illustriert beispielhaft eine Addition aller im Bereich $-D_x \leq dx \leq D_x$ auftretenden Specklemuster für eine Schrittweite von $D_x/80$. Ersichtlich wird der Kontrast der

Specklemuster (d.h. der Abstand der Minima und Maxima in der Intensitätsverteilung) verringert, sodass eine deutliche Reduktion wahrnehmbarer Specklemuster erzielt werden kann.

Die inhärente Variation der Specklesignaturen von handelsüblichen Scaneinheiten und

- 5 Pixelarrays ist zumeist bereits hinreichend für eine deutliche Specklereduktion. Um diese noch zu verstärken, kann eine zusätzliche Phasenvariation sowohl durch die Scaneinheit **3** als auch das Pixelarray **4** eingeführt werden.

Abbildung 3 zeigt schematisch eine Vergrößerung der Variation der Specklesignatur eines Pixelarrays **4** durch zusätzliche Modulation des Pixelzustandes pro erzeugtem Bild.

- 10 Analog zu einer Amplitudenmodulation, z.B. bei Lichtquellen, kann der Zustand eines Einzelpixels mehrmals geändert werden, während das Auge die Bilder aufaddiert. Dazu muss die Modulationsfrequenz hoch genug sein, dass das Auge die Einzelbilder nicht unterscheiden kann.

- Wie in Abb. 3a) gezeigt, kann vorzugsweise ein Pixel innerhalb der Integrationszeit des Auges
15 bzw. innerhalb der gewünschten Bildwiederholfrequenz (t_{int}) 4 Mal seinen Zustand ändern. Der wahrgenommene Zustand entspricht dem Mittelwert aller Zustände innerhalb von t_{int} (vgl. Abb. 3b), wobei sich korrespondierende Specklemuster innerhalb der Integrationszeit vorteilhaft überlagern bzw. mitteln.

- Abbildungen 4 und 5 zeigen schematisch beispielhafte Ausführungsformen zur Vergrößerung
20 der Variation der Specklesignatur der Scaneinheit **3** durch Schwingungsanregung eines Scanspiegels **5** entlang der Spiegelebene **6** (Abb. 4) oder senkrecht zur Spiegelebene **6** (Abb. 5) mittels eines Aktuators **7**. Die Schwingung kann z.B. durch piezoelektrische oder mikromechanische Modulatoren oder Schwingquarze bewirkt werden. Bevorzugt wird Specklesignatur der Scaneinheit **3** durch den Aktuator hochfrequent variiert, wobei die
25 Modulationsfrequenz der Scaneinheit **3** vorzugsweise deutlich höher ist als die Bildwiederholfrequenz.

- In Abb. 4 ist ein Scanspiegel **5** mit kardanischer Aufhängung gezeigt, welcher durch einen Aktuator mit Frequenzgeber **7** entlang der Spiegelebene **6** zum Schwingen gebracht wird. In
Abb. 5 wird ein Scanspiegel **5** in kardanischer Aufhängung gezeigt, welcher durch einen
30 Aktuator mit Frequenzgeber **7** senkrecht zur Spiegelebene **6** zum Schwingen gebracht wird.

Darüber hinaus können im Strahlengang, vorzugsweise zwischen Scaneinheit **3** und Pixelarray **4** zusätzliche Elemente eingebracht werden, die eine Specklesignatur hinzufügen. Bevorzugt sind beispielsweise Diffusoren, welche die Specklevarianz beim Scanvorgang erhöhen.

Abbildung 6 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem Diffusor **8** im Strahlengang. Der Diffusor **8** kann beispielsweise als optisches Element mit randomisierter Phase oder auch als ein Linsenarray ausgebildet sein. Der Diffusor **8** bewirkt bevorzugt eine Streuung und Durchmischung einzelnen Strahlen der Beleuchtungsstrahlung **2**, welche auf den Diffusor **8** an verschiedenen Auftreffpunkten auftreten. Hierdurch wird eine Kohärenzlänge der Beleuchtungsstrahlung **2** zusätzlich vermindert und eine Sichtbarkeit des Specklemusters im erzeugten Bild reduziert.

Abbildung 7 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit zwei Diffusoren **8** im Strahlengang. Die beiden Diffusoren **8** liegen im Strahlengang entlang der Ausbreitungsrichtung nacheinander mit einem räumlichen Abstand angeordnet vor. Mittels zweier Diffusoren kann eine nochmals deutlich verbesserte Reduktion von Speckle- und/oder Interferenzmuster erzielt werden.

Abbildung 8 illustriert schematisch die Überlagerung einer Vielzahl von Strahlenbündeln der Beleuchtungsstrahlung **2** durch Verwendung zweier Diffusoren **8** im Strahlengang

Die Beleuchtungsstrahlung **2**, welche an dem ersten Diffusor **8** gestreut wird, trifft an dem zweiten Diffusor **8** bereits an mehreren, verschiedenen Auftreffpunkten auf, an denen eine weitere Streuung erfolgt. Hierdurch werden mehrere Specklemuster zeitgleich überlagert. Die Anzahl der überlagernden Strahlenbündeln **2** bzw. Specklemuster auf dem Pixelarray **4** (sowie in der Bildebene) ist um ein Vielfaches höher, als es mit nur einem Diffusor **8** der Fall wäre.

Dies wird insbesondere deutlich, wenn man die Anzahl überlagernder Strahlenbündel **2** bzw. Specklemuster auf dem zweiten Diffusor **8** und auf dem Pixelarray **4** vergleicht. Ist die räumliche Frequenz der Specklemuster hoch genug können diese vom Auge nicht aufgelöst werden. Darüber hinaus überlagern sich Strahlenbündel **2** die lateral weiter voneinander entfernt sind, als es im Falle eines einzelnen Diffusors **8** der Fall ist. Dadurch wird die räumliche Kohärenz der Lichtquelle reduziert. Ist die Kohärenzlänge der Lichtquelle ausreichend gering, entstehen keine wahrnehmbaren Specklemuster. Die Aufweitung des Strahlenbündel **2** ist in Abbildungen 7 und 8 angedeutet und entspricht vorzugsweise einem Diffusionswinkel

Abbildung 9 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einer Linse **9** zur Gewährleistung konstanter Einfallswinkel der Beleuchtungsstrahlung **2** auf dem Pixelarray **4**.

Bei der Linse **9** handelt es sich bevorzugt, um eine refraktive, diffraktive oder Fresnel-Linse. Bevorzugt wird die Linse **9** - wie gezeigt - zwischen Scaneinheit **3** und Pixelarray **4** positioniert und ist dazu eingerichtet, dass alle Strahlenbündel **2** unabhängig von ihrer räumlichen Position denselben Einfallswinkel auf dem Pixelarray **4** aufweisen (vgl. Abb. 9 für zwei

beispielhafte Scanwinkel und Strahlverläufe). Dazu kann z.B. die Scaneinheit **3** im objektseitigen Fokus der Linse **9** stehen. Dieser Abstand kann variiert werden, um die Abstrahlcharakteristik des Gesamtsystems zu modifizieren.

Die Bildgebereinheit kann sowohl als Display oder auch als Projektor verwendet werden.

- 5 Abbildung 10 zeigt schematisch eine bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, welche als ein Display ausgebildet ist. Zur Verwendung als Display kann das Pixelarray **4** als Displayschirm **10** fungieren und direkt betrachtet werden (gezeigt) oder aber das Pixelarray **4** wird auf einen (semi-)transparenten Displayschirm **10** projiziert, welcher dann im Durchlicht betrachtet wird (nicht gezeigt).
- 10 Abbildung 11 zeigt schematisch eine bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, welche als ein Projektor ausgebildet ist. Zur Ausbildung als Projektor wird das Pixelarray **4** auf einen reflektierenden, vorzugsweise diffus reflektierenden, Projektionsschirm **11** projiziert.

Abbildung 12 zeigt schematisch eine bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem reduzierten Bauraum senkrecht zum Pixelarray **4**.

- 15 Zu diesem Zweck weist die Bildgebereinheit einen für die Beleuchtungsstrahlung **2** transparenten Substratkörper **14** auf mit einer Einkoppelfläche **12**, über welche die Beleuchtungsstrahlung **2** innerhalb des transparenten Substratkörpers **14** zu einer Rückfläche **15** gelenkt wird, an welcher ein Umlenkelement **13** positioniert vorliegt. Das Umlenkelement **13** ist derart ausgebildet, dass die auftreffende Beleuchtungsstrahlung **2** in Richtung einer
- 20 Vorderfläche **16** des Substratkörpers **14** umgelenkt wird, durch welche die Beleuchtungsstrahlung **2** auf das lichtmodulierende Pixelarray **4** austritt.

Der Substratkörper **14** ist im Verhältnis zur Höhe und Breite des Pixelarrays **4** vorzugsweise dünn ausgestaltet und kann die Grundform eines Quaders aufweisen, wobei an mindestens einer Fläche eine speziell geformte Einkoppelfläche **12** vorliegt. Zur Verminderung von

- 25 Ablenkungen oder Aberrationen kann die Einkoppelfläche **12** derart konkav geformt sein, dass die von der Scaneinheit **3** geführte Beleuchtungsstrahlung **2** für unterschiedliche Scanpositionen unter einem im Wesentlichen senkrechten Einfallswinkel in den Substratkörper **14** eintritt.

Das Umlenkelement **13** kann z.B. ein Volumenhologramm, ein mikrostrukturiertes diffraktives

30 Element oder auch eine (strukturierte) Spiegelfläche sein. Im Falle eines diffraktiven Umlenkelementes (z.B. Volumenhologramm) kann ungebeugtes Licht der nullten Beugungsordnung, aber auch Licht, welches in andere Beugungsordnungen als der gewünschten gebeugt wird, als Störlicht **17** im transparenten Substratkörper **14** propagieren.

Abbildung 13 zeigt schematisch eine bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, bei der das Störlicht **17** mindestens teilweise auf das Pixelarray **4** geführt wird.

Hierdurch kann Licht gleichzeitig an mehreren Punkten auf das Pixelarray **4** gelenkt werden, um auf diese Weise sichtbare Speckle weiter zu reduzieren.

- 5 Die Abbildungen 14-16 zeigen schematische Darstellungen bevorzugter Ausführungsformen erfindungsgemäßer Bildgebereinheiten, bei denen ein Auftreffen von Störlicht **17** auf dem Pixelarray **17** vermieden wird.

10 In Abbildung 14 wird der Scanwinkel der Scaneinheit **3** derart vorgegeben, dass das Störlicht **17** nicht aus der Vorderfläche **16** auf das Pixelarray **4** austritt, sondern aus einer unteren Fläche des Substratkörpers **14**.

In Abbildung 15 ist die Rückfläche **15** des transparenten Substratkörpers **14** auf dem das Umlenkelement **13** aufgebracht wird, derart angepasst, dass das Störlicht **17** vom Pixelarray **4** wege gelenkt wird.

15 In Abbildung 16 ist Einkoppelfläche **12** derart gestaltet, dass alle Strahlenbündel der Beleuchtungsstrahlung **2** von der Scaneinheit **3** unter dem gleichen Winkel auf das Umlenkelement **13** treffen. Beispielsweise kann hierzu eine Freiformoptik, eine bikonische Linse oder eine rotationssymmetrische Linse verwendet werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass verschiedene Alternativen zu den beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung verwendet werden können, um die Erfindung auszuführen und zu der erfindungsgemäßen Lösung zu gelangen. Die erfindungsgemäße Bildgebereinheit
20 beschränkt sich in ihren Ausführungen somit nicht auf die vorstehenden bevorzugten Ausführungsformen. Vielmehr ist eine Vielzahl von Ausgestaltungsvarianten denkbar, welche von der dargestellten Lösung abweichen können. Ziel der Ansprüche ist es, den Schutzzumfang der Erfindung zu definieren. Der Schutzzumfang der Ansprüche ist darauf
25 gerichtet, die erfindungsgemäßen Bildgebereinheit sowie äquivalente Ausführungsformen dieser abzudecken.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|----------------------------------|
| 1 | Lichtquelle |
| 2 | Beleuchtungsstrahlung |
| 3 | Scaneinheit |
| 4 | lichtmodulierendes Pixelarray |
| 5 | Scanspiegel |
| 6 | Spiegelebene |
| 7 | Aktuator |
| 8 | Diffusor |
| 9 | Linse |
| 10 | Displayschirm |
| 11 | Projektionsschirm |
| 12 | Einkoppelfläche |
| 13 | Umlenkelement |
| 14 | transparenter Substratkörper |
| 15 | Rückfläche des Substratkörpers |
| 16 | Vorderfläche des Substratkörpers |
| 17 | Störlicht |

PATENTANSPRÜCHE

1. Bildgebereinheit
mit einer Lichtquelle (1) zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung (2) sowie einem lichtmodulierenden Pixelarray (4) zur Erzeugung eines Bildes durch pixelweise Modulation der auf den Pixelarray (4) einfallenden Beleuchtungsstrahlung (2),
dadurch gekennzeichnet, dass
die Beleuchtungsstrahlung (2) beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray (4) eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray (4) und zur Erzeugung eines Bildes mittels einer Scaneinheit (3) über das Pixelarray (4) geführt wird, um eine Sichtbarkeit von Specklemustern im erzeugten Bild zu reduzieren.
2. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Beleuchtungsstrahlung (2) eine kohärente Strahlung ist und/oder die Lichtquelle (1) ein Laser ist.
3. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bildgebereinheit zwei oder mehr Lichtquellen (1), vorzugsweise zwei oder mehr monochromatische Laser umfasst.
4. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Scaneinheit (3) einen oder mehrere Scanspiegel (5), Linsen, Prismen, Wedges und/oder diffraktive optische Elemente (DOEs) umfasst.
5. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
das lichtmodulierende Pixelarray (4) ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend ein Flächenlichtmodulator (engl. *Spatial Light Modulator* (SLM)), ein Flüssigkeitskristalldisplay (LCD) und/oder ein Mikrospiegelarray.
6. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Beleuchtungsstrahlung (2) beim Auftreffen auf das Pixelarray (4) eine laterale Ausdehnung aufweist, welche um einen Faktoren 5, 10, 100 oder mehr kleiner ist als das Pixelarray (4) und/oder wobei die Beleuchtungsstrahlung (2) beim Auftreffen auf das Pixelarray (4) eine laterale Ausdehnung von weniger als 50, 30, 20, 10, 5, 4, 3, 2 oder weniger als einem Pixel aufweist.

7. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
eine Scanfrequenz der Scaneinheit (3) und/oder eine Arrayfrequenz des Pixelarrays (4) mindestens 20 Hz, vorzugsweise mindestens 25 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz oder mehr beträgt.
8. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
zur Vergrößerung einer Variation einer Specklesignatur des Pixelarrays (4) und/oder der Scaneinheit (3) die Bildgebereinheit dafür eingerichtet durch das Pixelarray (4) und/oder durch die Scaneinheit (3) eine zusätzliche Phasenvariation der Beleuchtungsstrahlung (2) zu bewirken.
9. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
zur Vergrößerung einer Variation einer Specklesignatur des Pixelarrays (4) die Bildgebereinheit für eine zusätzliche Modulation des Pixelzustandes pro erzeugtem Bild eingerichtet ist, wobei bevorzugt eine Modulationsfrequenz des Pixelzustandes einen Faktor 2, 4, 6 oder mehr höher ist als eine Bildwiederholungsrate der Bildgebereinheit.
10. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
zur Vergrößerung einer Variation der Specklesignatur der Scaneinheit (3) die Bildgebereinheit für eine zusätzliche Modulation der Scaneinheit (3) zur Phasenvariation der Beleuchtungsstrahlung (2) eingerichtet ist, wobei eine Modulationsfrequenz der Scaneinheit (3) einen Faktor 2, 4, 6 oder mehr höher ist als eine Bildwiederholungsrate der Bildgebereinheit und/oder wobei bevorzugt eine oder mehrere Komponenten der Scaneinheit (3) durch einen Aktuator (7) zu Schwingungen angeregt werden.
11. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bildgebereinheit zusätzlich im Strahlengang zwischen Lichtquelle (1) und lichtmodulierendem Pixelarray (4), vorzugsweise im Strahlengang zwischen Scaneinheit (3) und lichtmodulierendem Pixelarray (4), einen oder mehrere Diffusoren (8) aufweist.
12. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass

die Bildgebereinheit zwei oder mehr Diffusoren (8) umfasst, welche nacheinander mit einem räumlichen Abstand im Strahlengang angeordnet vorliegen.

13. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bildgebereinheit als ein Display ausgebildet ist, wobei das lichtmodulierende Pixelarray (4) einen Displayschirm (11) bildet und/oder wobei das von dem lichtmodulierenden Pixelarray (4) erzeugte Bild auf einen (semi-)transparenten Displayschirm (11) projiziert wird.
14. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bildgebereinheit als ein Projektor ausgebildet ist, wobei das lichtmodulierende Pixelarray (4) auf einen reflektierenden Projektionsschirm (11) projiziert wird.
15. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bildgebereinheit einen für die Beleuchtungsstrahlung (2) transparenten Substratkörper (14) aufweist mit einer Einkoppelfläche (12) über welche die Beleuchtungsstrahlung (2) innerhalb des transparenten Substratkörpers (14) zu einer Rückfläche (15) gelenkt wird, an welcher ein Umlenkelement (13) positioniert vorliegt, wobei das Umlenkelement (13) derart ausgebildet ist, dass die auftreffende Beleuchtungsstrahlung (2) in Richtung einer Vorderfläche (16) des Substratkörpers (14) umgelenkt wird durch welche die Beleuchtungsstrahlung (2) auf das lichtmodulierende Pixelarray (4) austritt.

Abb. 1

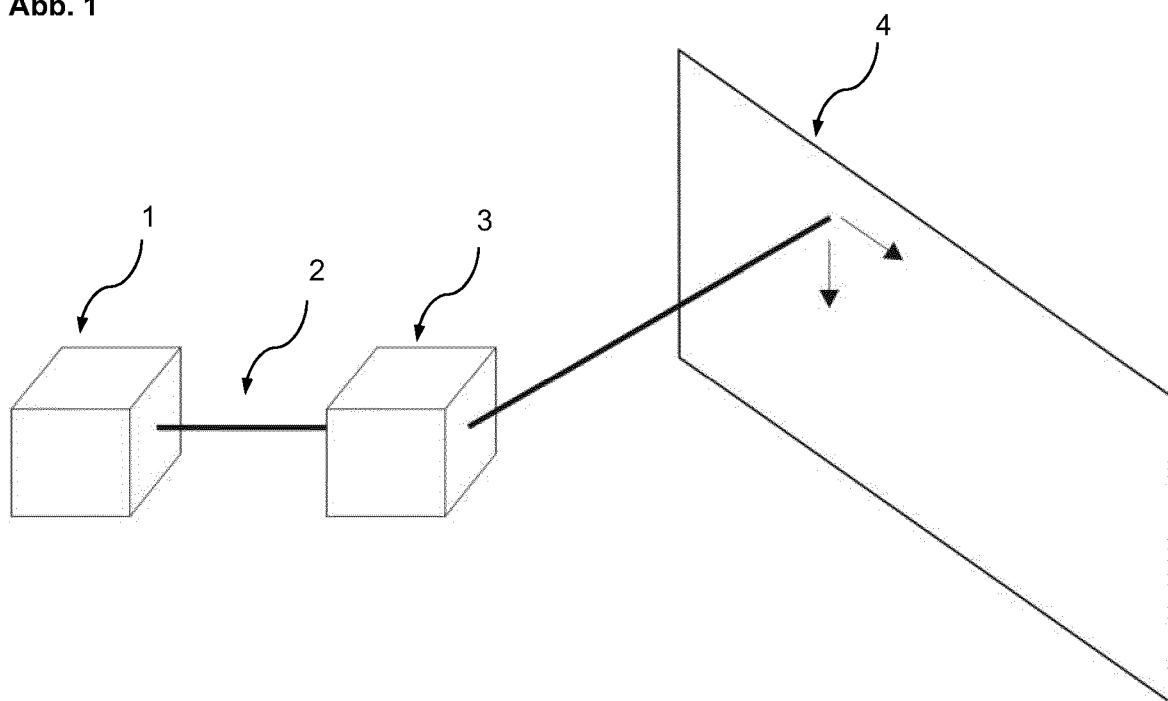


Abb. 2

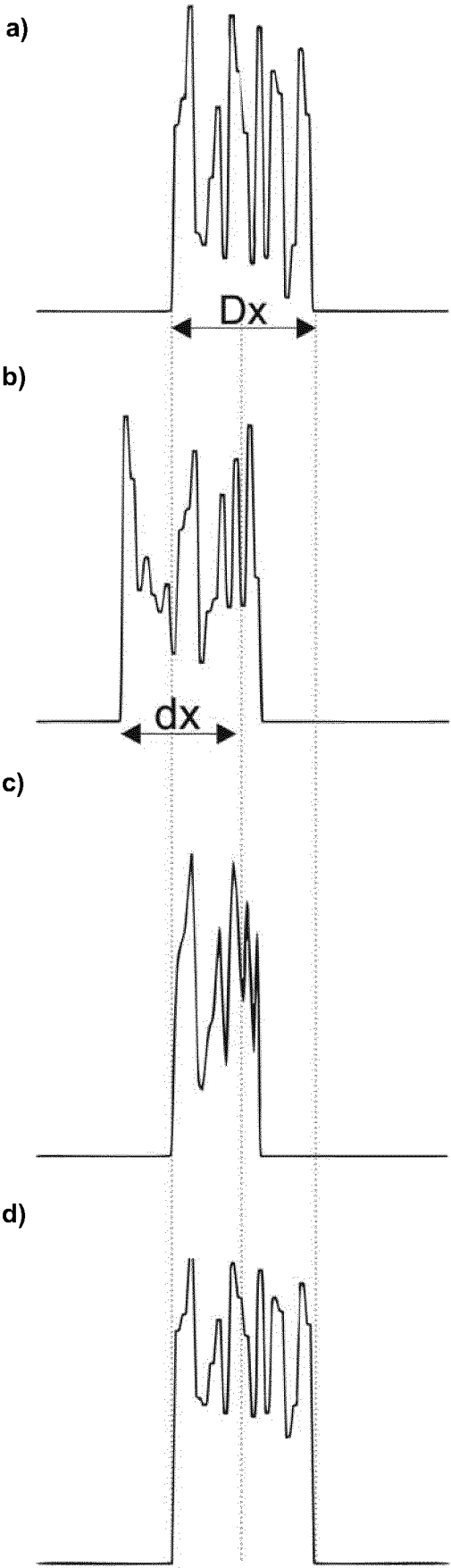


Abb. 3

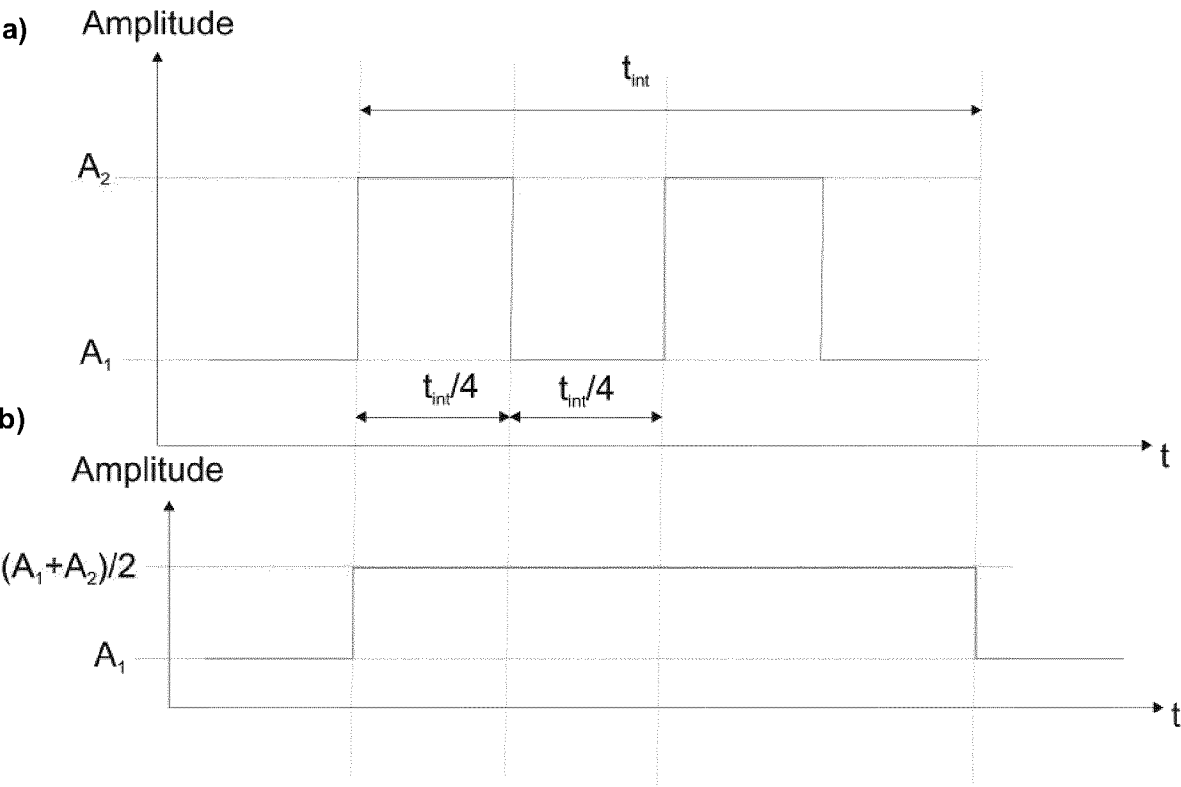


Abb. 4

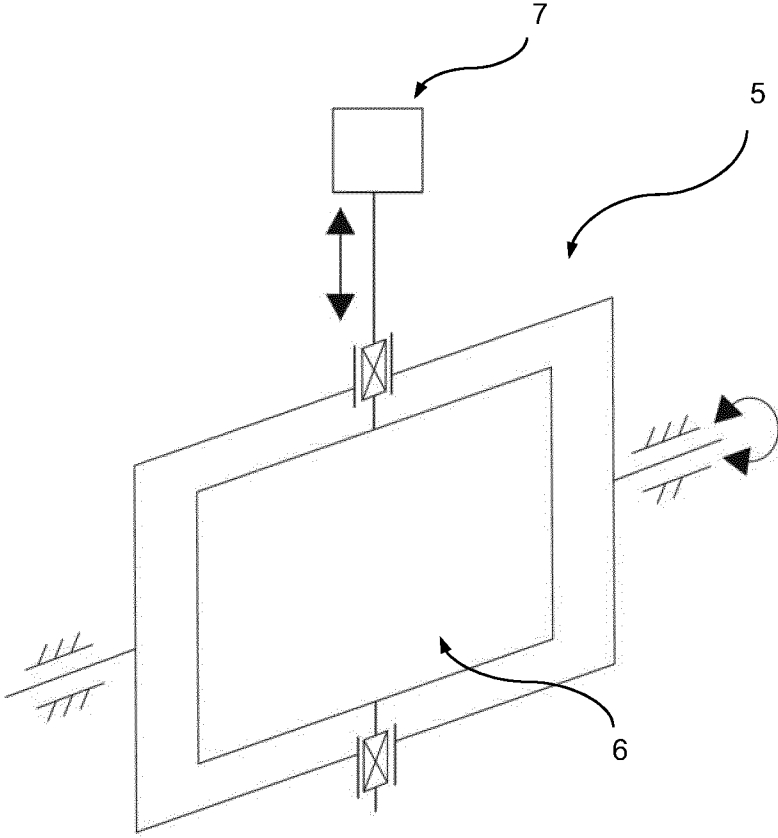


Abb. 5

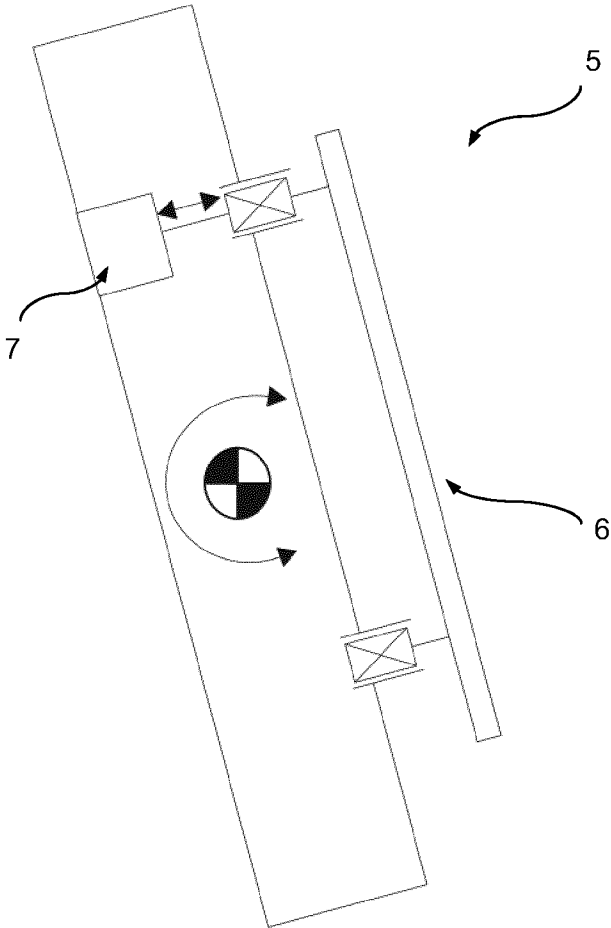


Abb. 6

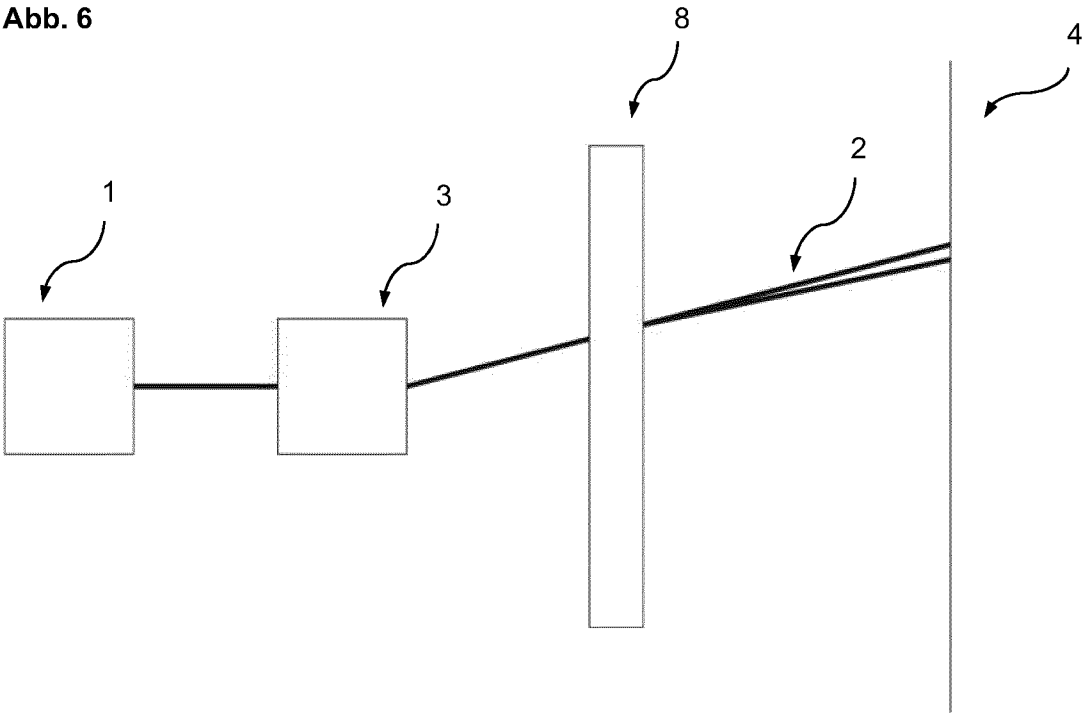


Abb. 7

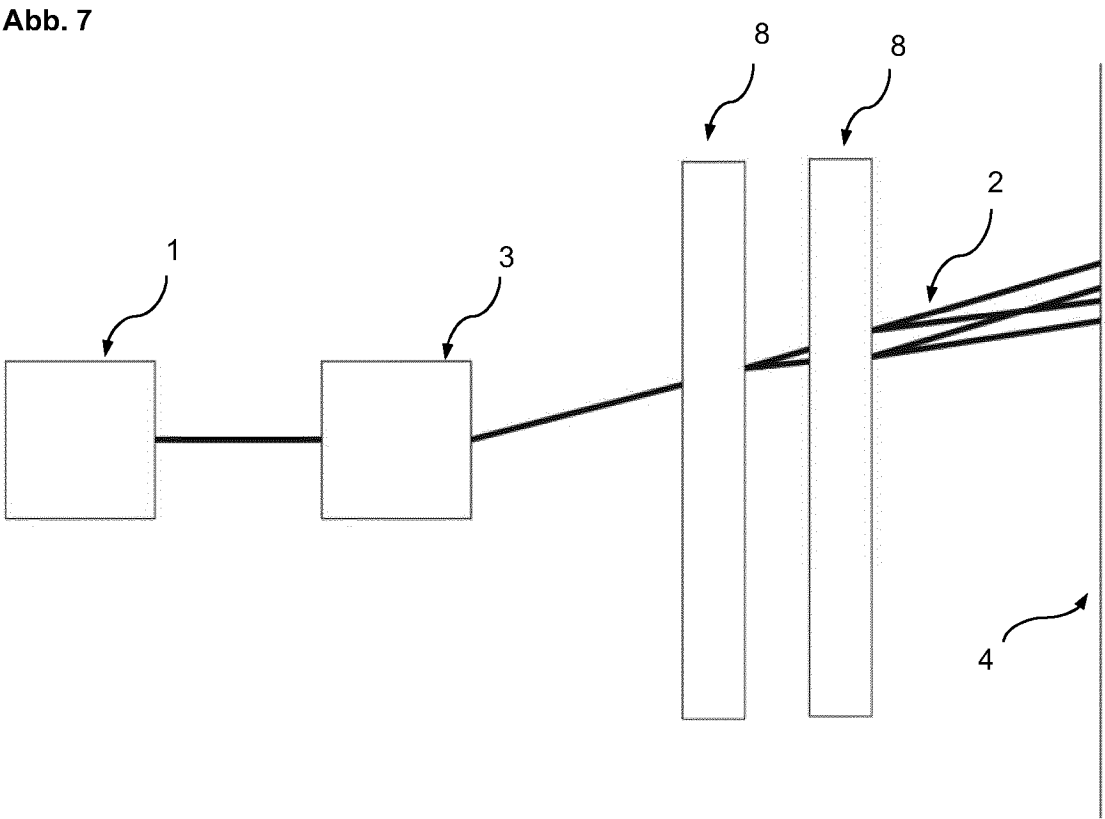


Abb. 8

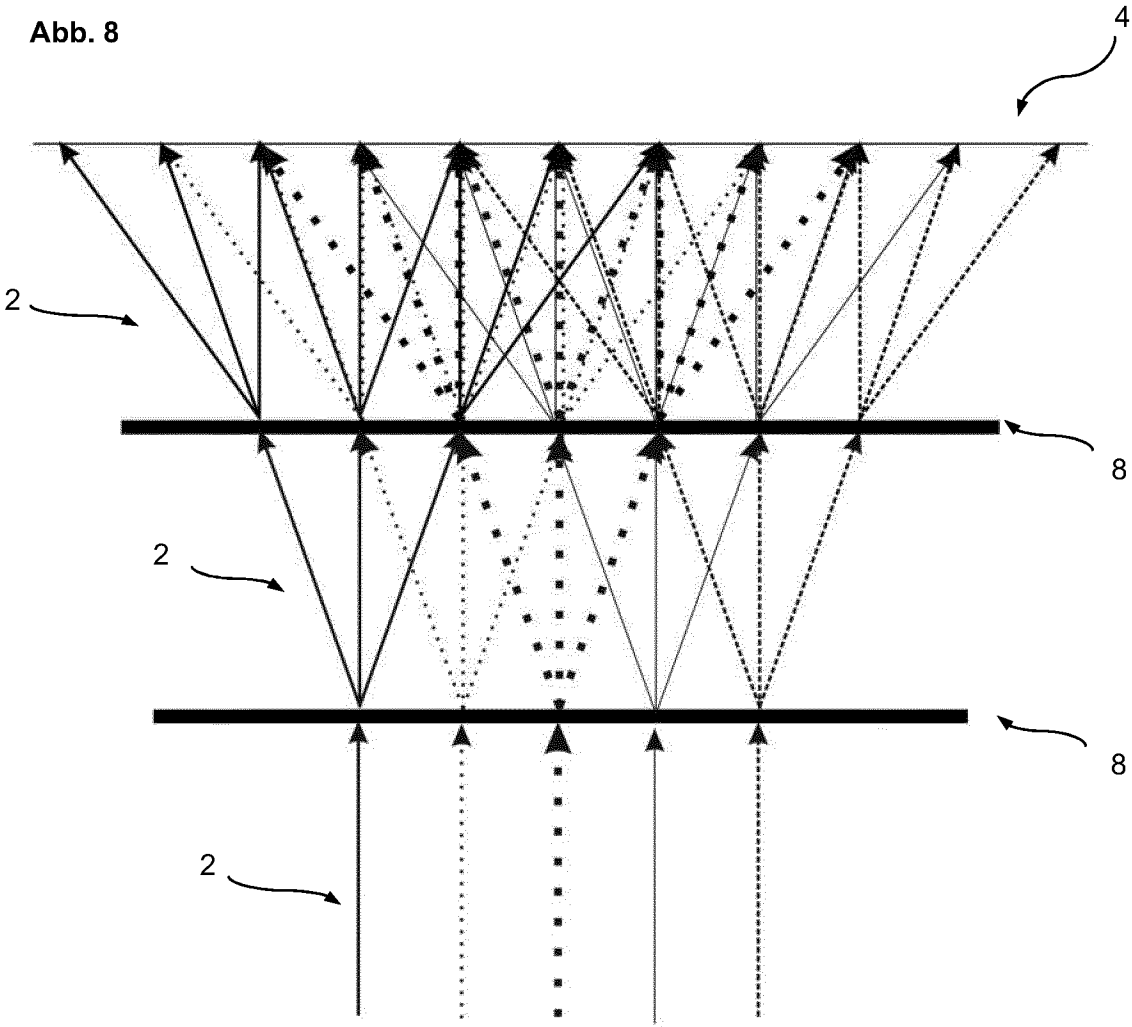


Abb. 9

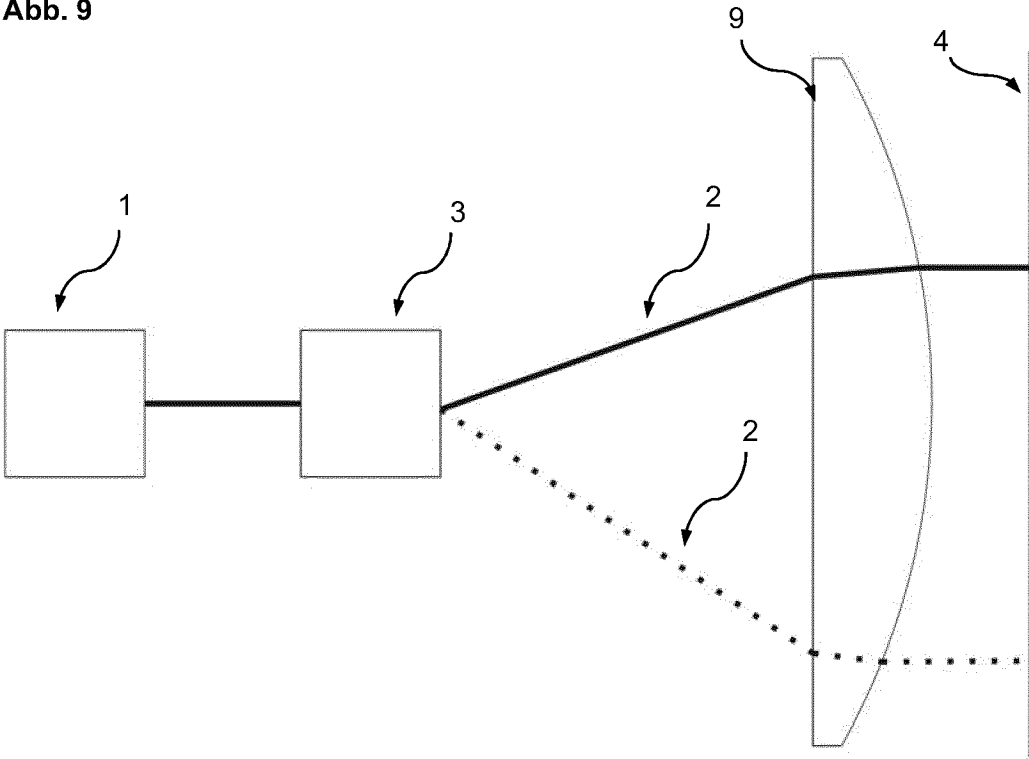


Abb. 10

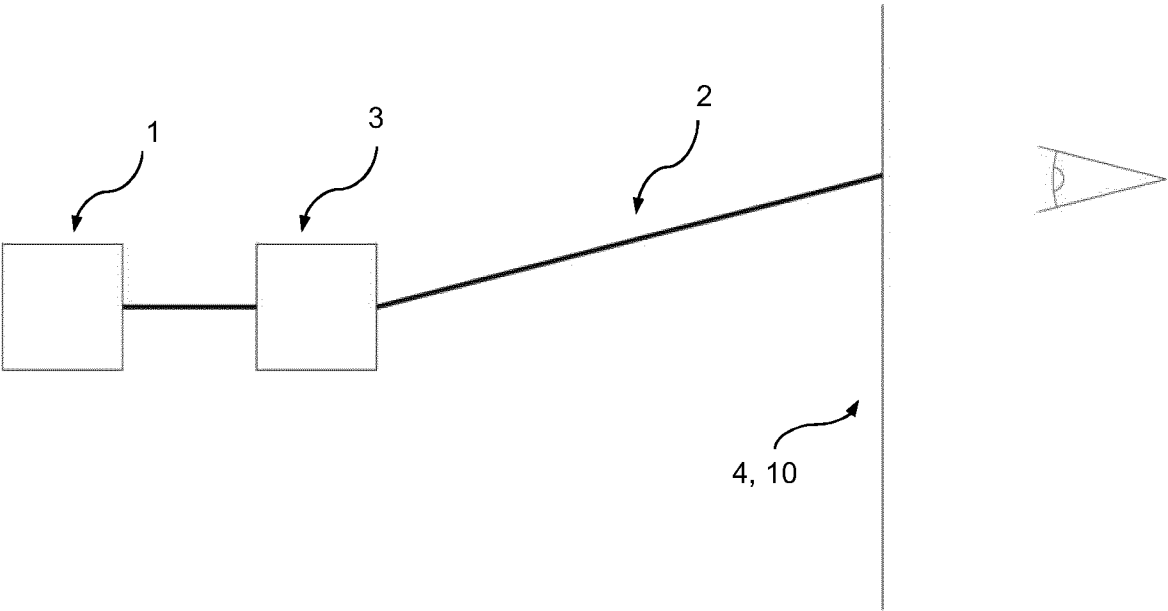


Abb. 11

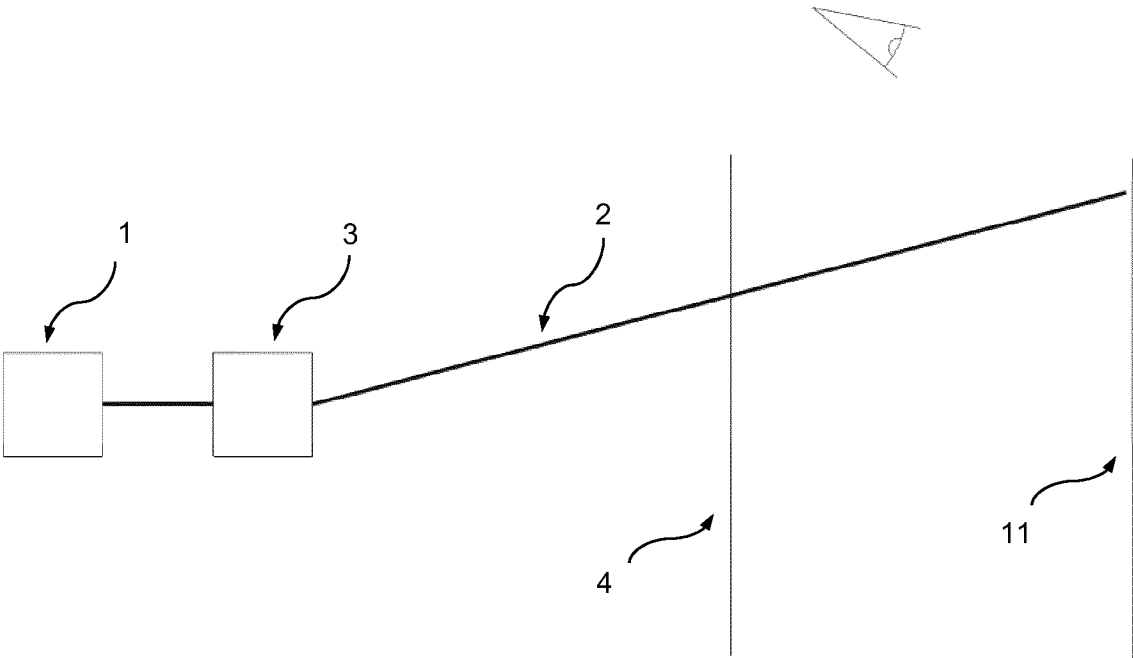


Abb. 12

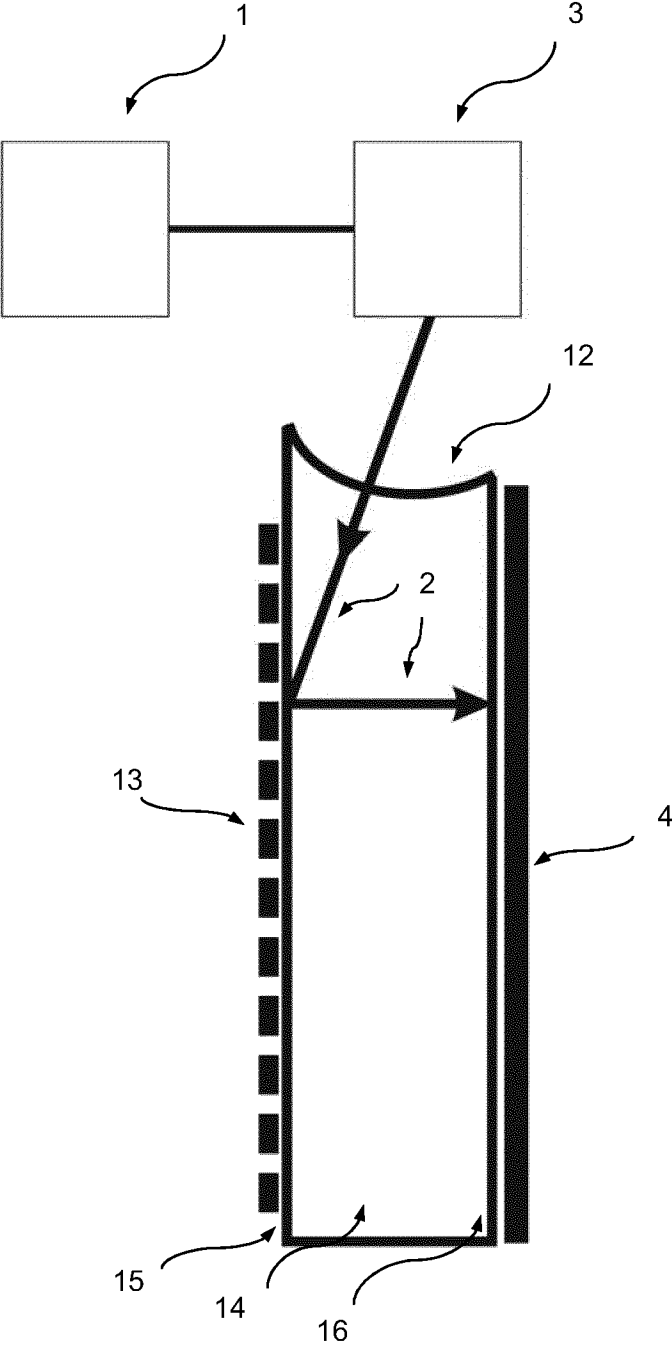


Abb. 13

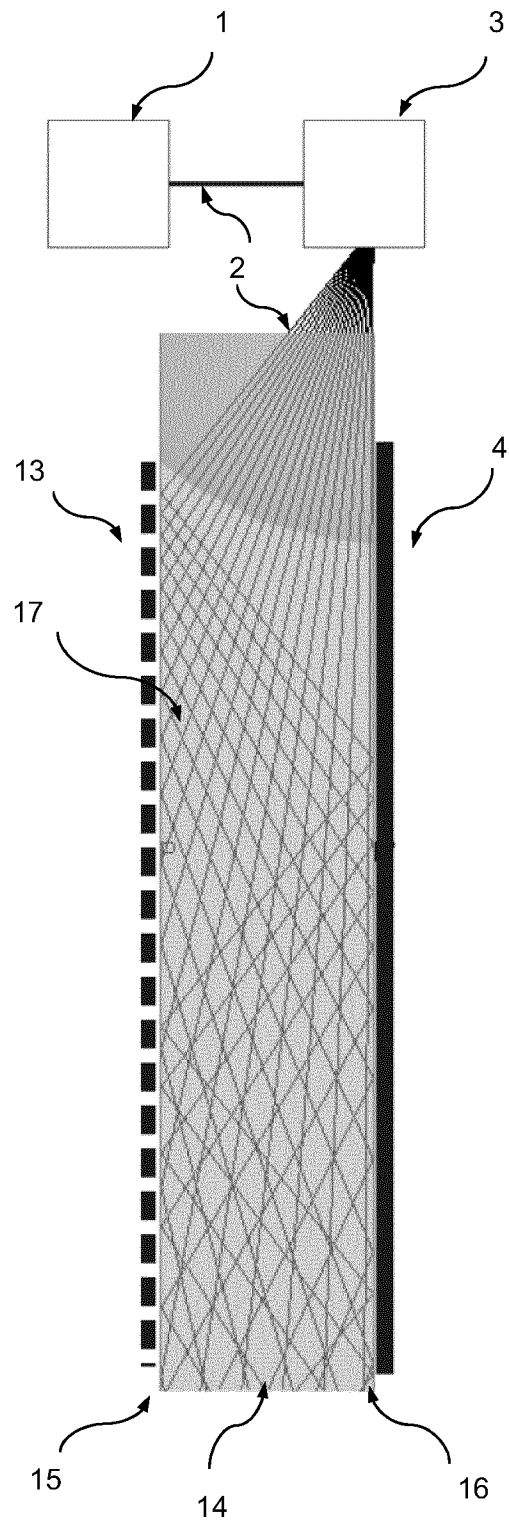


Abb. 14

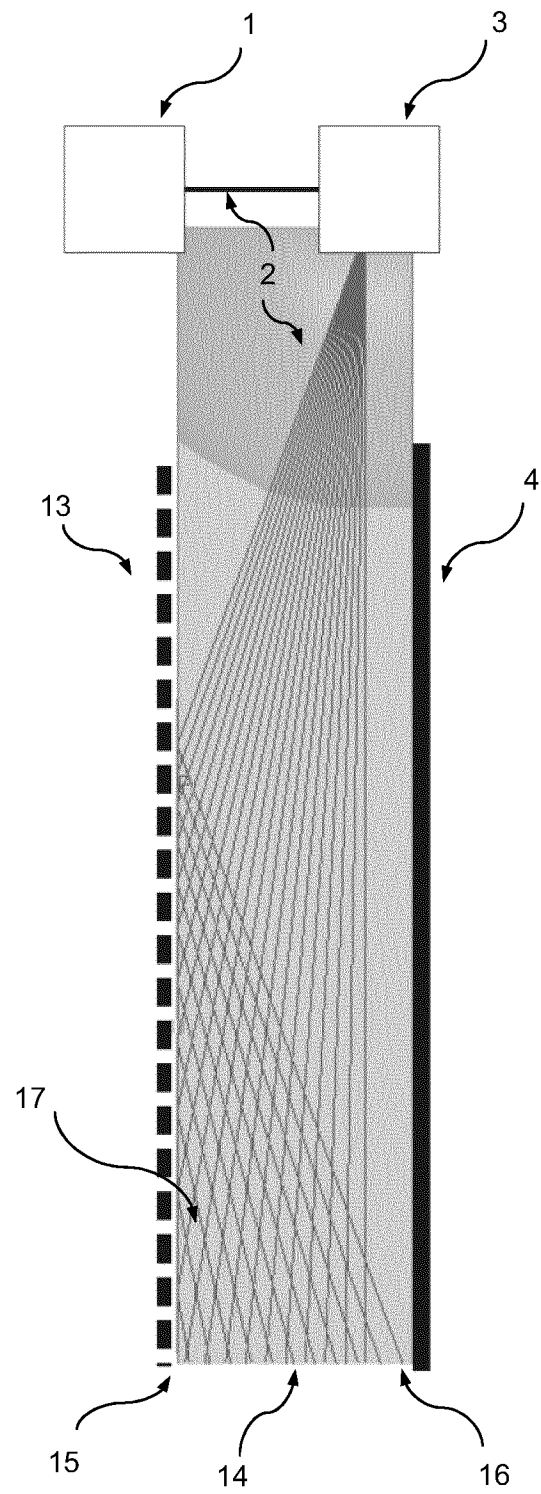


Abb. 15

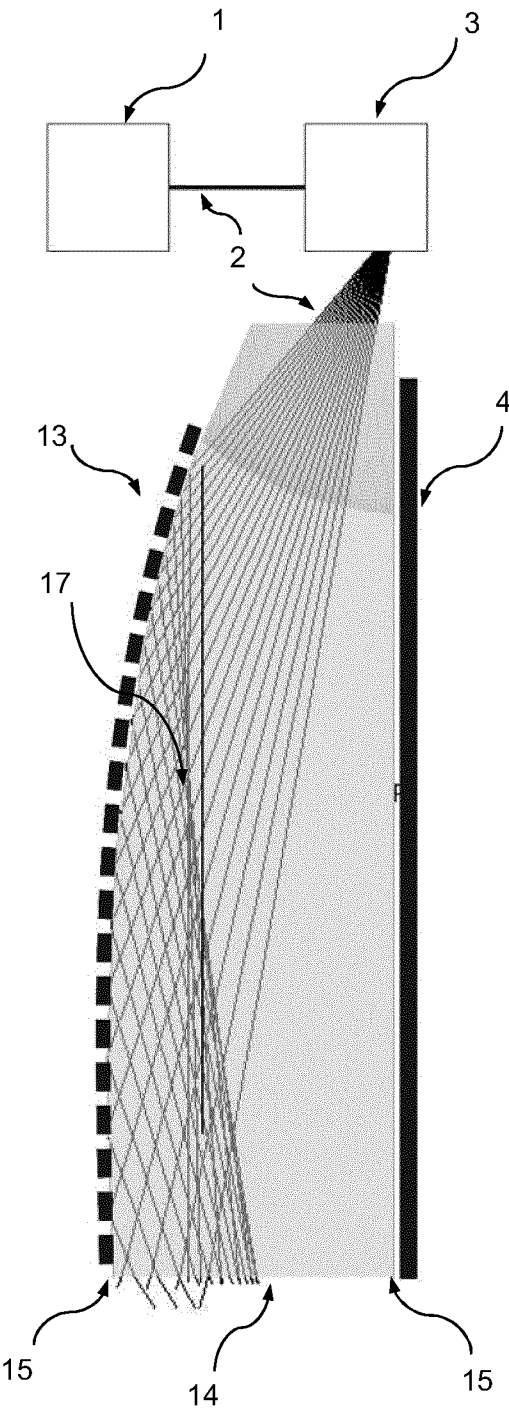
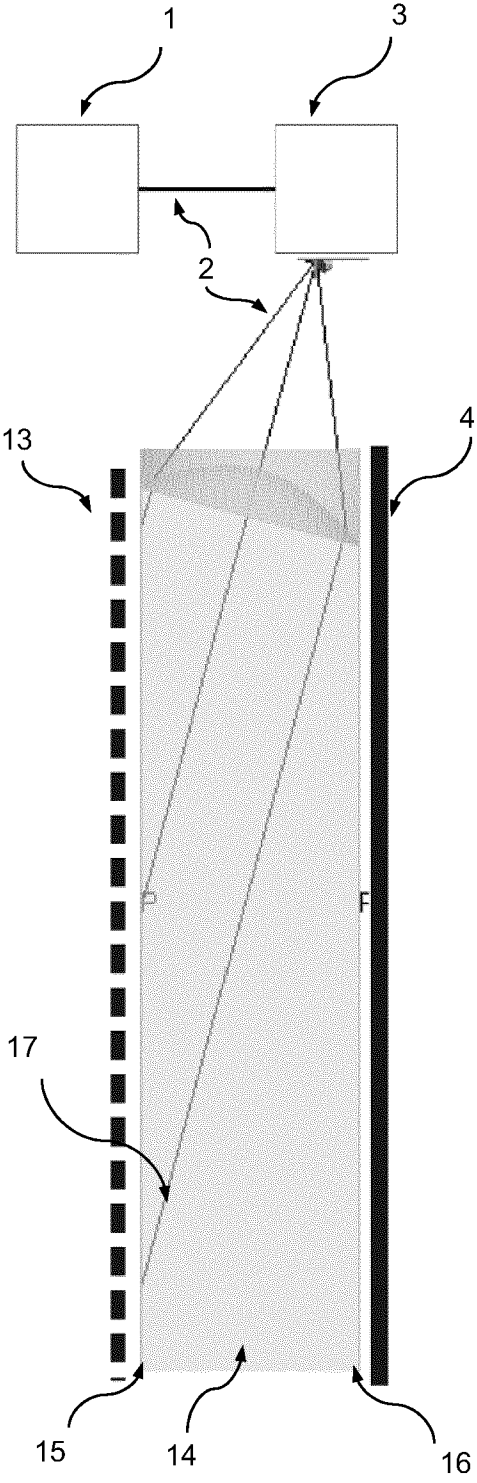


Abb. 16



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/082945

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H04N 9/31**(2006.01)i; **G02B 27/48**(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)

H04N; G03D; 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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2001046033 A1 (TROYER DIANE [US]) 29 November 2001 (2001-11-29) abstract paragraph [0098] paragraph [0168] paragraph [0260] paragraph [0369] - paragraph [0381] paragraph [0393] paragraph [0438] figures 1, 5-7	1-15
X A	US 2009168424 A1 (YAMAUCHI TAISUKE [JP] ET AL) 02 July 2009 (2009-07-02) abstract paragraph [0089] - paragraph [0094] paragraph [0095] - paragraph [0111] figures 5, 7, 9	1 2-15



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

07 March 2023

Date of mailing of the international search report

16 March 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

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

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

Authorized officer

Bouffier, Alexandre

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/082945

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 2014118702 A1 (TANIGUCHI YUKIO [JP] ET AL) 01 May 2014 (2014-05-01) abstract paragraph [0047] - paragraph [0055] figure 2	1 2-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/082945

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2001046033	A1	29 November 2001	AU	4182299	A	06 December 1999
				CA	2372833	A1	25 November 1999
				MX	PA00011926	A	17 October 2002
				US	6183092	B1	06 February 2001
				US	8113660	B1	14 February 2012
				US	2001046033	A1	29 November 2001
				US	2005057727	A1	17 March 2005
				WO	9960443	A2	25 November 1999
US	2009168424	A1	02 July 2009	JP	5386821	B2	15 January 2014
				JP	2009163901	A	23 July 2009
				US	2009168424	A1	02 July 2009
US	2014118702	A1	01 May 2014	CN	103502887	A	08 January 2014
				CN	107577112	A	12 January 2018
				EP	2708948	A1	19 March 2014
				EP	3312670	A1	25 April 2018
				JP	5168526	B2	21 March 2013
				JP	2012237813	A	06 December 2012
				US	2014118702	A1	01 May 2014
				US	2015163467	A1	11 June 2015
				WO	2012153626	A1	15 November 2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H04N9/31 G02B27/48 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H04N G03D 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		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2001/046033 A1 (TROYER DIANE [US]) 29. November 2001 (2001-11-29) Zusammenfassung Absatz [0098] Absatz [0168] Absatz [0260] Absatz [0369] - Absatz [0381] Absatz [0393] Absatz [0438] Abbildungen 1, 5-7 -----	1-15
X	US 2009/168424 A1 (YAMAUCHI TAISUKE [JP] ET AL) 2. Juli 2009 (2009-07-02) Zusammenfassung Absatz [0089] - Absatz [0094] Absatz [0095] - Absatz [0111] Abbildungen 5, 7, 9 -----	1
A	Zusammenfassung Absatz [0089] - Absatz [0094] Absatz [0095] - Absatz [0111] Abbildungen 5, 7, 9 ----- --/--	2-15
☒ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
7. März 2023		16/03/2023
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 Bouffier, Alexandre

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2014/118702 A1 (TANIGUCHI YUKIO [JP] ET AL) 1. Mai 2014 (2014-05-01)	1
A	Zusammenfassung Absatz [0047] – Absatz [0055] Abbildung 2 -----	2–15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/082945

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2001046033 A1	29-11-2001	AU 4182299 A	06-12-1999
		CA 2372833 A1	25-11-1999
		MX PA00011926 A	17-10-2002
		US 6183092 B1	06-02-2001
		US 8113660 B1	14-02-2012
		US 2001046033 A1	29-11-2001
		US 2005057727 A1	17-03-2005
		WO 9960443 A2	25-11-1999

US 2009168424 A1	02-07-2009	JP 5386821 B2	15-01-2014
		JP 2009163901 A	23-07-2009
		US 2009168424 A1	02-07-2009

US 2014118702 A1	01-05-2014	CN 103502887 A	08-01-2014
		CN 107577112 A	12-01-2018
		EP 2708948 A1	19-03-2014
		EP 3312670 A1	25-04-2018
		JP 5168526 B2	21-03-2013
		JP 2012237813 A	06-12-2012
		US 2014118702 A1	01-05-2014
		US 2015163467 A1	11-06-2015
		WO 2012153626 A1	15-11-2012
