

(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
28. September 2017 (28.09.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/162647 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02B 27/09 (2006.01) G03H 1/02 (2006.01)
B23K 26/40 (2014.01) G03F 7/20 (2006.01)

(74) Anwälte: ZIMMERMANN, Tankred et al.; Schoppe,
Zimmermann, Stöckeler, Zinkler, Schenk & Partner mbB,
Radlkofenstr. 2, 81373 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/056658

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. März 2017 (21.03.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 204 703.5 22. März 2016 (22.03.2016) DE

(71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: DÜRR, Peter; Baumstr. 9, 01099 Dresden
(DE). MAI, Alexander; Theresienstr. 20, 01097 Dresden
(DE).

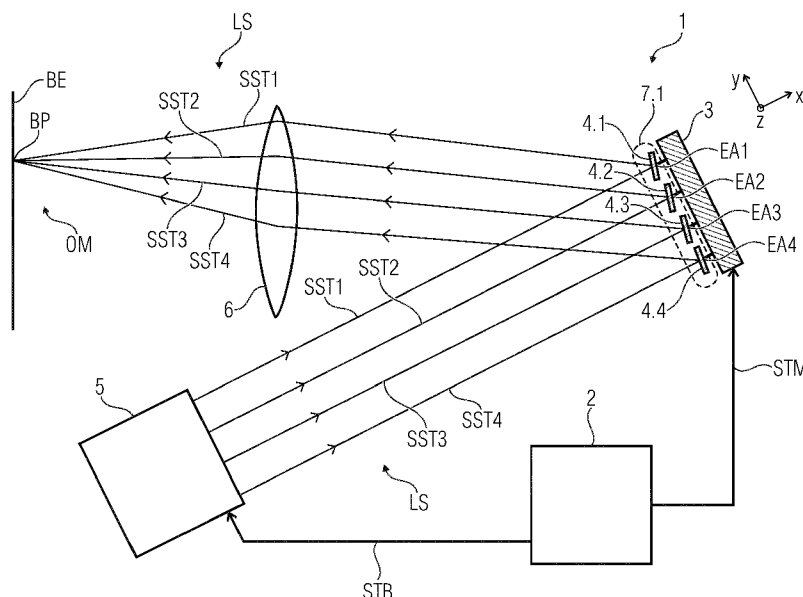
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, 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, SM, ST, SV,
SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR PRODUCING AN OPTICAL PATTERN FROM PIXELS IN AN IMAGE PLANE

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG EINES OPTISCHEN MUSTERS AUS
BILDPUNKTEN IN EINER BILDEBENE



Figur 1

(57) Abstract: The invention relate to a device for producing an optical pattern from pixels in an image plane, comprising: a control apparatus for controlling the production of the optical pattern; a micromirror array for reflecting light beams, which hit the micromirror array over an area, wherein the micromirror array has a plurality of micromirrors, each of which can be tilted by the control apparatus at least about a first axis such that a direction of a center-of-gravity beam of the light beams reflected at the particular micromirror can be set; a lighting apparatus controllable by the control apparatus for producing the light beams, which is designed in such a way that the light beams are at least partially planarly coherent; a focusing apparatus for focusing the light beams reflected at the plurality of micromirrors of the micromirror array onto the image plane; wherein the control apparatus is designed to control one or more micromirror groups formed by several micromirrors of the plurality of micromirrors in such a way that the center-of-gravity beams reflected at the

micromirrors of one of the micromirror groups meet in the image plane and that optical path lengths of the center-of-gravity beams reflected at the micromirrors of the particular micromirror group from the lighting apparatus to the image plane are equal or differ by an integer multiple of a wavelength of the light beams in order to thus produce one of the pixels.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/162647 A1



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)

Vorrichtung zur Erzeugung eines optischen Musters aus Bildpunkten in einer Bildebene, umfassend: eine Steuereinrichtung zum Steuern der Erzeugung des optischen Musters; ein Mikrospiegelarray zum Reflektieren von Lichtstrahlen, welche flächig auf das Mikrospiegelarray einfallen, wobei das Mikrospiegelarray eine Vielzahl von Mikrospiegeln aufweist, welche jeweils durch die Steuereinrichtung wenigstens um eine erste Achse verkippbar sind, so dass eine Richtung eines Schwerpunktstrahls der an dem jeweiligen Mikrospiegel reflektierten Lichtstrahlen einstellbar ist; eine durch die Steuereinrichtung steuerbare Beleuchtungseinrichtung zum Erzeugen der Lichtstrahlen, welche so ausgebildet ist, dass die Lichtstrahlen wenigstens teilweise flächig kohärent sind; eine Fokussiereinrichtung zum Fokussieren der an der Vielzahl von Mikrospiegeln des Mikrospiegelarrays reflektierten Lichtstrahlen auf die Bildebene; wobei die Steuereinrichtung zum derartigen Steuern einer oder mehrerer aus mehreren Mikrospiegeln der Vielzahl von Mikrospiegeln gebildeten Mikrospiegelgruppe ausgebildet ist, dass sich die an den Mikrospiegeln einer der Mikrospiegelgruppen reflektierten Schwerpunktstrahlen in der Bildebene treffen und dass optische Weglängen der an den Mikrospiegeln der jeweilige Mikrospiegelgruppe reflektierten Schwerpunktstrahlen von der Beleuchtungseinrichtung bis zur Bildebene gleich sind oder sich um ein ganzzahliges Vielfaches einer Wellenlänge der Lichtstrahlen unterscheiden, um so einen Bildpunkt der Bildpunkte zu erzeugen.

Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung eines optischen Musters aus Bildpunkten in einer Bildebene

Beschreibung

5

Diese Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung eines programmierbaren optischen Musters.

10

Es ist bereits eine Vielzahl von Vorrichtungen zur Erzeugung optischer Muster bekannt. Bei einem klassischen Diaprojektor wird z.B. Licht durch das Dia überall dort absorbiert, wo die Intensität im gewünschten Muster klein sein soll. Dies funktioniert mit hoher Auflösung (Zahl unterscheidbarer Bildpunkte), aber die Lichtausbeute kann - je nach Bildinhalt - durch die Absorption recht klein ausfallen, und ein Musterwechsel erfordert einen kompletten

15

Wechsel des Dias. Neben dem unerwünschten Lichtverlust selbst kann auch die Erwärmung des Dias durch die Absorption zu Problemen führen.

20

Eine Art Weiterentwicklung des Diaprojektors stellen die so genannten Beamer dar, bei denen statt des Dias ein frei programmierbarer Flächenlichtmodulator (spatial light modulator, SLM) das Muster definiert. Der Flächenlichtmodulator kann dabei wahlweise mikromechanisch (mit Mikrospiegeln, besonders verbreitet ist die DLP-Technik von Texas Instruments) oder mit Flüssigkristallen (LCD, LCoS) arbeiten. Er erlaubt die computergesteuerte Erzeugung unterschiedlichster optischer Muster ohne vorherige Herstellung individueller Dias. Zudem wird vorteilhaft die Absorption des Lichts räumlich vom Flächenlichtmodulator getrennt. Ungünstig bleibt jedoch, dass Stellen niedriger Intensität nur durch die Absorption der (teuer erzeugten) Strahlung erreicht werden können. Besonders ungünstig wird dies, wenn die gewünschten Muster einen großen Anteil dunkler Stellen und nur kleine Flächenanteile mit besonders hohen Spitzenintensitäten haben sollen. Dies kommt z. B. bei der optischen Materialbearbeitung vor, z.B. durch Aufschmelzen oder Ablation.

30

Zur Vermeidung von Lichtverlusten durch Absorption gibt es im Stand der Technik bereits die Mustererzeugung mittels diffraktiver optischer Elemente (DOE). Durch ein solches diffraktives optisches Element wird der einfallende

35

Lichtstrahl in seiner Phase so moduliert, dass er effektiv, entsprechend dem gewünschten Muster, in mehrere Teilstrahlen aufgespalten wird, was z. B. in Dokument [1] beschrieben ist. Das zu erzeugende Muster erscheint hier im Fernfeld bzw. in der Fokusebene einer Linse, wenn die auf das diffraktive optische Element einfallende Strahlung eine ebene Welle ist (alternativ kann die Beleuchtung auch mit konvergentem oder divergentem Licht erfolgen, das Bild entsteht dann an anderer Stelle, was hier unwesentlich ist). Das diffraktive optische Element wird dabei anders als ein Dia nicht real abgebildet.

Im einfachsten Fall besteht das diffraktive optische Element aus einer einseitig strukturierten transparenten oder auch reflektierenden Platte. Dabei muss jedoch zur Projektion eines anderen Musters ein entsprechendes neues diffraktives optisches Element hergestellt werden. Dieses Prinzip der Mustererzeugung wird z. B. im Beleuchtungsstrahlengang aktueller Halbleiter-Lithografiemaschinen angewandt.

Die Mustererzeugung nach dem Prinzip diffraktiver optischer Elemente kann mit programmierbaren Flächenlichtmodulatoren schnell veränderlich gemacht werden, was z. B. in Dokument [2] offenbart ist. Dazu eignen sich grundsätzlich phasenschiebende Flächenlichtmodulatoren, welche beispielsweise Mikrospiegel oder Flüssigkristalle aufweisen können. Nachteilig ist hier, dass ein diffraktives optisches Element für eine gute Bildqualität hinsichtlich der Auflösung und dem ausgeleuchteten Winkelbereich extrem viele und extrem kleine Pixel benötigt, deren Abmessungen nahe der Lichtwellenlänge liegen. Während dies bei den festen, geätzten diffraktiven optischen Elementen einfach zu realisieren ist, ist die extreme Verkleinerung der aktiven Pixel eines Flächenlichtmodulators technisch sehr viel schwieriger und teurer. Zudem müssen für all diese Pixel auch jeweils Ansteuerdaten berechnet und an den Flächenlichtmodulator übertragen werden, was ebenfalls einen großen Aufwand bedeutet.

Einen anderen Weg gehen daher Aufbauten mit Flächenlichtmodulatoren, welche eine inkohärente Mustererzeugung nach dem Beam-Steering-Prinzip verfolgen, was z. B. durch Dokument [3], dort speziell Figur 10, offenbart ist. Derartige Flächenlichtmodulatoren weisen in zwei Dimensionen kippbare Mikrospiegel auf, deren Auslenkung oft als tip tilt Funktion bezeichnet wird

und die sehr viel größer sind als die benutzte Lichtwellenlänge. Jeder einzelne dieser Mikrospiegel reflektiert daher im Wesentlichen nach dem Prinzip Ausfallswinkel gleich Einfallswinkel diejenigen Teilstrahlen des einfallenden Lichts, welche auf ihn fallen. Bei Beleuchtung mit einer ebenen Welle entsteht dann das gewünschte Lichtmuster durch geeignete Auslenkung aller Mikrospiegel aus den jeweiligen Teilstrahlen im Fernfeld bzw. im Fokus einer Linse. Dieses Verfahren ist prinzipiell dadurch gekennzeichnet, dass sich die Teilstrahlen, welche von verschiedenen Mikrospiegeln ausgehen, aber zu einem gemeinsamen Bildpunkt beitragen, inkohärent überlagern.

Dieser Aufbau hat wie ein vergleichbarer Aufbau mit einem diffraktiven optischen Element die Eigenschaft, dass das gesamte vom Flächenlichtmodulator reflektierte Licht genutzt werden kann. Sehr vorteilhaft ist es dabei, dass wesentlich weniger Pixel benötigt werden als bei einem Flächenlichtmodulator mit einem diffraktiven optischen Element, so dass auch sehr viel weniger Ansteuerdaten berechnet und übertragen werden müssen. Dieser Aufbau hat aber auch den Nachteil, dass die Beugung an den einzelnen Mikrospiegeln die Auflösung sowie die Bildschärfe empfindlich begrenzt. Anders ausgedrückt, kann der Durchmesser jedes Bildpunktes der Teilstrahlen in der Bildebene nicht kleiner werden, als durch die Beugung am einzelnen Mikrospiegel bedingt. Für eine sehr gute Bildqualität, insbesondere hinsichtlich der Auflösung und Schärfe, sind daher sehr große Mikrospiegel erforderlich, die wiederum in den gängigen MEMS-Prozessen nur mit großem Aufwand in großen Mikrospiegelarrays für viele unabhängige Bildpunkte herzustellen sind. Außerdem steigt das Trägheitsmoment großer Mikrospiegel mit einer hohen Potenz der lateralen Abmessungen an, wobei der genaue Wert der Potenz von der Skalierung der Spiegeldicke abhängt, die für eine akzeptable Planarität mit vergrößert werden muss. Bei begrenzten Antriebsspannungen und damit -kräften können daher große Mikrospiegel nur wesentlich langsamer bewegt werden als kleinere

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine verbesserte Vorrichtung zur Erzeugung eines zweidimensionalen optischen Musters aus Bildpunkten in einer Bildebene bereitzustellen.

Die Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung zur Erzeugung eines zweidimensionalen optischen Musters aus Bildpunkten in einer Bildebene, welche folgende Merkmale umfasst:

5 eine Steuereinrichtung zum Steuern der Erzeugung des optischen Musters;

ein Mikrospiegelarray zum Reflektieren von Lichtstrahlen, welche flächig auf das Mikrospiegelarray einfallen, wobei das Mikrospiegelarray eine Vielzahl von Mikrospiegeln aufweist, welche jeweils durch die Steuereinrichtung wenigstens um eine erste Achse verkippt sind, so dass eine Richtung eines
10 Schwerpunktstrahls der an dem jeweiligen Mikrospiegel reflektierten Lichtstrahlen einstellbar ist;

eine durch die Steuereinrichtung steuerbare Beleuchtungseinrichtung zum
15 Erzeugen der Lichtstrahlen, welche so ausgebildet ist, dass die Lichtstrahlen wenigstens teilweise flächig kohärent sind;

eine Fokussiereinrichtung zum Fokussieren der an der Vielzahl von Mikrospiegeln des Mikrospiegelarrays reflektierten Lichtstrahlen auf die Bildebene;
20

wobei die Steuereinrichtung zum derartigen Steuern einer oder mehrerer aus mehreren Mikrospiegeln der Vielzahl von Mikrospiegeln gebildeten Mikrospiegelgruppe ausgebildet ist, dass sich die an den Mikrospiegeln einer der Mikrospiegelgruppen reflektierten Schwerpunktstrahlen in der Bildebene treffen und dass optische Weglängen der an den Mikrospiegeln der jeweiligen
25 Mikrospiegelgruppe reflektierten Schwerpunktstrahlen von der Beleuchtungseinrichtung bis zur Bildebene gleich sind oder sich um ein ganzzahliges Vielfaches einer Wellenlänge der Lichtstrahlen unterscheiden, um so einen Bildpunkt der Bildpunkte zu erzeugen.

30 Bei der Steuereinrichtung kann sich insbesondere um eine digitale elektronische Steuereinrichtung, insbesondere um einen Computer, handeln.

Unter einem Schwerpunktstrahl der an einem Mikrospiegel reflektierten
35 Lichtstrahlen wird derjenige Lichtstrahl verstanden, der am Schwerpunkt der Spiegelfläche des jeweiligen Mikrospiegels reflektiert wird. Bei einer

rechtwinkligen Spiegelfläche ist der Schwerpunkt beispielsweise durch den Kreuzungspunkt der Diagonalen der Spiegelfläche definiert.

Die Beleuchtungseinrichtung ist dabei so ausgebildet, dass die erzeugten
5 Lichtstrahlen wenigstens im räumlichen Bereich einer der Mikrospiegelgruppen im Wesentlichen kohärent sind.

Die Fokussiereinrichtung kann zwischen dem Mikrospiegelarray und der Bildebene oder zwischen der Beleuchtungseinrichtung und dem Mikrospiegelarray angeordnet sein.
10

Die Lösung der oben genannten Aufgabe erfolgt auf der Basis des oben beschriebenen Beam-Steering- Aufbaus, wobei zumindest teilweise räumlich kohärente Lichtstrahlen verwendet werden, die in der Bildebene interferieren,
15 wobei die Phasen der interferierenden Schwerpunktstrahlen gesteuert werden.

Der wesentliche Unterschied der erfindungsgemäßen Vorrichtung gegenüber der aus dem Dokument [3] bekannten Vorrichtung ist also der, dass zumindest teilweise kohärentes Licht verwendet wird in der Bildebene interferieren,
20 wobei die Phasen der interferierenden Schwerpunktstrahlen durch eine Einstellung ihrer optischen Weglängen eingestellt werden.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden die Mikrospiegel der jeweiligen Mikrospiegelgruppe so gesteuert, dass sich die im Wesentlichen kohärenten Lichtstrahlen der Mikrospiegel der Mikrospiegelgruppe konstruktiv überlagern, um so einen Bildpunkt zu erzeugen. Hierzu werden die Mikrospiegel der jeweiligen Mikrospiegelgruppe so verkippt, dass sich einerseits die an den Mikrospiegeln einer der Mikrospiegelgruppen reflektierten
25 Schwerpunktstrahlen in der Bildebene in einem Mittelpunkt des Bildpunktes treffen und dass die optischen Weglängen der an den Mikrospiegeln der jeweiligen Mikrospiegelgruppe reflektierten Schwerpunktstrahlen von der Beleuchtungseinrichtung bis zur Bildebene gleich sind oder sich um ein ganzzahliges Vielfaches einer Wellenlänge der Lichtstrahlen unterscheiden.
30

Durch die Einstellung der optischen Weglängen wird erreicht, dass die an dem Mittelpunkt des Bildpunktes eintreffenden Schwerpunktstrahlen dieselbe Phasenlage aufweisen. Hierdurch wird vermieden, dass die kohärenten Lichtstrahlen unerwünschte Beugungsmuster erzeugen, welche eine Aufteilung des Bildpunktes in mehrere Teilbildpunkte bewirken würde, und so das Bildrauschen erhöhen würde.

Für jeden Bildpunkt in der Bildebene werden erfindungsgemäß die Mikrospiegel einer Mikrospiegelgruppe so gesteuert, dass sich die an den Mikrospiegeln einer der Mikrospiegelgruppen reflektierten Schwerpunktstrahlen genau in der Mitte des gewünschten Bildpunktes treffen. Die Steuereinrichtung kann dabei so ausgebildet sein, dass die Mikrospiegel einer Mikrospiegelgruppe zur Erzeugung eines Bildpunktes parallel ausgerichtet sind, um zu erreichen, dass sich die an den Mikrospiegeln einer der Mikrospiegelgruppen reflektierten Schwerpunktstrahlen genau in der Mitte des gewünschten Bildpunktes treffen. Die räumliche Lage der beteiligten Mikrospiegel wird jeweils so berechnet und eingestellt, dass die optische Weglänge all dieser Schwerpunktstrahlen von der Beleuchtungseinrichtung bis zur Bildebene gleich ist oder sich jeweils um ein ganzzahliges Vielfaches der benutzten Lichtwellenlänge unterscheidet. Dies kann auf einen kleinen Bruchteil der benutzten Lichtwellenlänge genau sein, z. B. 5%, besser 1 %.

Damit interferieren alle Schwerpunktstrahlen einer Mikrospiegelgruppe konstruktiv, was hier eine entsprechend hohe Intensität erzeugt. In der Umgebung dieses Punktes ergeben sich zwangsläufig andere Phasenbeziehungen der an dem jeweiligen Mikrospiegel reflektierten Lichtstrahlen, die automatisch einen steilen Abfall der Intensität und damit einen scharfen Bildpunkt ergeben. Der Durchmesser dieses Bildpunktes kann bei guter Mikrospiegelqualität und präziser Ansteuerung so klein sein, wie es der Beugung an einem einzelnen Mikrospiegel von der Größe der gesamten genutzten Mikrospiegelgruppe entspricht. Eine Mikrospiegelgruppe von zum Beispiel 16 Mikrospiegeln kann also einen Bildpunkt von $1/16$ derjenigen Fläche erzeugen, die von einem einzelnen dieser Mikrospiegel herrühren würde. Die Intensität im Zentrum dieses Bildpunktes wird dabei 256-fach ($=16^2$) größer. Im Vergleich dazu ergibt sich bei einer inkohärenten Überlagerung der reflektierten Lichtstrahlen bei einer Mikrospiegelgruppe von 16 Mikrospiegeln ein Bild-

punkt mit der ursprünglichen Breite und Länge sowie eine nur 16-fach höhere Intensität.

5 Bevorzugt sind die Mikrospiegel einer der Mikrospiegelgruppen nach Art einer quadratischen Matrix ($n \times n$ Matrix) angeordnet. In diesem Fall ergibt sich für die Längsrichtung und für die Breitenrichtung des Bildpunktes dieselbe Schärfe. Grundsätzlich jedoch können die Mikrospiegel einer der Mikrospiegelgruppen nach Art einer beliebigen $m \times n$ Matrix angeordnet sein.

10 Dabei sind die Mikrospiegel einer der Mikrospiegelgruppen unabhängig von den Mikrospiegeln der anderen Mikrospiegelgruppen einstellbar, um so unterschiedliche Bildpunkte erzeugen zu können.

15 Die Erfindung ermöglicht die Projektion eines optischen Musters, das direkt von einem Computer ohne individuelle Herstellung von Hilfselementen, wie z. B. Masken oder diffraktive optische Elemente, bestimmt wird. Das Mikrospiegelarray erlaubt gleichzeitig die Positionierung der Bildpunkte und die Herstellung der Phasengleichheit der Schwerpunktstrahlen der Bildpunkte. Das Muster-Erzeugungsprinzip der erfindungsgemäßen Vorrichtung beruht
20 nicht auf der Absorption des bereits erzeugten Lichts, bietet daher eine hohe Lichtausbeute und weist eine hohe Auflösung und Präzision der Musterwiedergabe auf.

25 Die Erfindung eignet sich besonders für Anwendungen, in denen möglichst scharfe, helle Lichtpunkte in einem dunklen Umfeld benötigt werden, die frei positioniert und in ihrer Intensität eingestellt werden können. Hier ist insbesondere die Materialbearbeitung zu nennen, speziell die Ablation, aber auch thermische Behandlung bis hin zum Aufschmelzen der Oberfläche eines Werkstücks. Auch die chemische Beeinflussung eines Werkstücks bzw. Fo-
30 tolacks ist denkbar, wie z. B. in der Lithografie. Auch die Verwendung in anderen Geräten zur Mustererzeugung ist möglich.

In einem Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind die einzelnen Mikrospiegel des Mikrospiegelarrays um genau eine erste Achse
35 verkippt und ansonsten festgelegt. Dabei können die Mikrospiegel einer Zeile des Mikrospiegelarrays um eine gemeinsame erste Achse verkippt

sein, welche parallel zu der Zeile ausgerichtet ist. Die Mikrospiegel der anderen Zeilen sind jeweils um eine weitere gemeinsame erste Achse verkippt, wobei die ersten Achsen der verschiedenen Zeilen jeweils parallel zueinander ausgerichtet sein können. Dabei können die Mikrospiegel einer Mikrospiegelgruppe unabhängig von den Mikrospiegeln der anderen Mikrospiegelgruppen um die jeweilige erste Achse verkippt sein, um so gleichzeitig mehrere quer zur ersten Achse versetzte Bildpunkte zu erzeugen. Zeilen und Spalten des Mikrospiegelarrays können dabei sinngemäß vertauscht werden. Wenn die Mikrospiegel lediglich um eine erste Achse verkippt sind, ist die Erzeugung eindimensionaler optischer Muster möglich.

Die Bedingung der Phasengleichheit der Schwerpunktstrahlen in einer Mikrospiegelgruppe, die gemeinsam für einen Bildpunkt genutzt werden, kann hierbei jedoch nur für diskrete Bildpunkte erfüllt werden, wobei der Abstand der möglichen Bildpunkte von dem Raster des Mikrospiegelarrays abhängt. Damit ist das Kontinuum möglicher Bildpunkte in der Bildebene auf das diskrete Raster der Beugungsordnungen des Mikrospiegelarrays eingeschränkt. Der Vorteil dieses Ausführungsbeispiels besteht jedoch darin, dass die Menge der benötigten Steuerdaten für das Mikrospiegelarray vergleichsweise gering ist.

Die Einschränkung auf ein vorgegebenes Raster von möglichen Bildpunkten mag zunächst sehr ungünstig erscheinen, eine Anwendung zur Mustererzeugung kann aber doch sinnvoll sein. So können z. B. individuelle Markierungen an Produkten mittels Ablation hergestellt werden. Hier ist eine hohe Spitzenintensität wichtig, wobei das optische Muster auch gut erkannt werden kann, wenn die einzelnen Bildpunkte deutlich voneinander getrennt sind. Weitere Ausführungsbeispiele ohne diese Einschränkung werden unten offenbart.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung beträgt eine Länge der Mikrospiegel und/oder eine Breite der Mikrospiegel mindestens das 5-fache, bevorzugt mindestens das 10-fache, und besonders bevorzugt das 20-fache, der Wellenlänge der Lichtstrahlen. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass an den einzelnen Mikrospiegeln eine Umlenkung der Lichtstrahlen nach der Gleichung $\text{Einfallswinkel} = \text{Ausfallwinkel}$ erfolgt. Zudem

kann so die Anzahl der erforderlichen Mikrospiegel gering gehalten werden, so dass die Menge der benötigten Steuerdaten klein gehalten werden kann.

5 Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung ist die Steuereinrichtung zum derartigen Bilden einer der Mikrospiegelgruppen ausgebildet, dass eine der Mikrospiegelgruppen aus benachbarten Mikrospiegeln der Vielzahl von Mikrospiegeln gebildet ist. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass die auf die Mikrospiegel der derart gebildeten Mikrospiegelgruppe einfallenden Lichtstrahlen besonders kohärent sind, so dass besonders scharf be-
10 grenzte Bildpunkte erzeugbar sind. Benachbart sind Mikrospiegel dann, wenn sich kein anderer Mikrospiegel zwischen den betrachteten Spiegeln befindet.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist die Steuereinrichtung zum derartigen Steuern der Mikrospiegelgruppen ausgebildet, dass
15 zwei benachbarte oder einander überlappende Bildpunkte (BP) der Bildpunkte (BP) durch zwei nicht benachbarte Mikrospiegelgruppen der Mikrospiegelgruppen erzeugbar sind. Hierdurch ist es möglich, dass neben den besonders scharf begrenzten Bildpunkten auch Bildpunkte mit weicheren Übergängen erzeugbar sind, da die Kohärenz der auf die Mikrospiegel der jeweiligen
20 Mikrospiegelgruppe einfallenden Lichtstrahlen in der Praxis abnimmt, wenn die Mikrospiegelgruppen räumlich beabstandet sind.

Benachbart sind Mikrospiegelgruppen dann, wenn sich kein Mikrospiegel
25 einer anderen Mikrospiegelgruppe zwischen den betrachteten Mikrospiegelgruppen befindet. Mikrospiegelgruppen sind dann nicht benachbart, wenn sich zwischen den betrachteten Mikrospiegelgruppen Mikrospiegel einer anderen Mikrospiegelgruppe befinden.

30 Bei Verwendung einer teilkohärenten Beleuchtung können benachbarte bzw. überlappende Bildpunkte in der Bildebene von nicht benachbarten Mikrospiegelgruppen gebildet werden, deren Abstand oberhalb der räumlichen Kohärenzlänge liegt. Damit ist es neben der Erzeugung besonders scharfer Bildpunkte möglich, breitere Lichtverteilungen mit weicheren Übergängen zu
35 erzeugen, indem die zur Erzeugung des einen benachbarten Bildpunktes verwendeten Lichtstrahlen so ausgewählt werden, dass sie inkohärent im

Verhältnis zu den Lichtstrahlen sind, welche zur Erzeugung des anderen benachbarten Bildpunktes verwendet werden.

5 Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung ist die Steuereinrichtung zum Steuern einer Intensität der Beleuchtungseinrichtung ausgebildet. Da die erfindungsgemäße Vorrichtung das gesamte vom Mikrospiegelarray reflektierte Licht nutzt, ist es sinnvoll, wenn die Intensität der Beleuchtungseinrichtung schnell veränderbar ist. Dann kann zu jedem Zeitpunkt genau so viel Licht erzeugt werden, wie entsprechend dem zu erzeugenden optischen
10 Muster aktuell gebraucht wird. Lässt die Beleuchtungseinrichtung eine ausreichend schnelle Modulation nicht zu, kann alternativ oder zusätzlich ein Absorber eingesetzt werden, der beispielsweise so ausgebildet ist, dass er bei großen Mikrospiegelwinkeln bestrahlt wird und dadurch Licht absorbiert.

15 Nach einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind die Mikrospiegel jeweils durch die Steuereinrichtung zusätzlich um eine zweite Achse, welche quer zu der ersten Achse verläuft, verkippbar, so dass die Richtung des Schwerpunktstrahls der an dem jeweiligen Mikrospiegel reflektierten Lichtstrahlen zweidimensional einstellbar ist. Dabei können die Mikrospiegel einer
20 Spalte des Mikrospiegelarrays um eine gemeinsame zweite Achse verkippbar sein, welche parallel zu einer Spalte des Mikrospiegelarrays ausgerichtet ist. Die Mikrospiegel der anderen Spalte sind jeweils um eine weitere gemeinsame zweite Achse unabhängig voneinander verkippbar, wobei die zweiten Achsen der verschiedenen Spalten jeweils parallel zueinander ausgerichtet sein können. Dabei können die Mikrospiegel einer Mikrospiegelgruppe unabhängig von den Mikrospiegeln der anderen Mikrospiegelgruppen um die zweiten Achsen verkippbar sein, um so gleichzeitig mehrere Bildpunkte zu erzeugen, um so gleichzeitig mehrere quer zur jeweiligen zweiten Achse versetzte Bildpunkte zu erzeugen. Zeilen und Spalten des Mikrospiegelarrays können dabei sinngemäß vertauscht werden. Wenn die Mikrospiegel um eine erste Achse und eine zweite Achse verkippbar sind, ist die Erzeugung zweidimensionaler optischer Muster möglich.
25
30

35 Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung ist die Steuereinrichtung zum derartigen Bilden einer der Mikrospiegelgruppen ausgebildet, dass eine der Mikrospiegelgruppen aus zweidimensional angeordneten Mik-

rospiegeln der Vielzahl von Mikrospiegeln gebildet ist. Auf diese Weise kann eine Mikrospiegelgruppe gebildet werden, deren Mikrospiegel besonders nahe beieinander angeordnet sind, so dass die darauf einfallenden Lichtstrahlen besonders kohärent sind, so dass besonders scharfe Bildpunkte erzeugt werden können.

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung sind die Mikrospiegel jeweils durch die Steuereinrichtung längs einer Hubrichtung, welche quer zu einer Spiegelfläche des jeweiligen Mikrospiegels verläuft, verschiebbar, so dass die optische Weglänge des an dem jeweiligen Mikrospiegel reflektierten Schwerpunktstrahls veränderbar ist.

Wenn dieses Merkmal in einem Ausführungsbeispiel, bei dem die Mikrospiegel genau um die erste Achse verkippbar sind, vorgesehen wird, dann können die Bildpunkte kontinuierlich auf einer Linie erzeugt werden, da die Phasenbedingung für jeden Punkt der Linie durch Einstellen des Hubs gewährleistet werden kann. Dabei kann insbesondere in Anwendungen, die in der Bildebene unterschiedliche Anforderungen für die beiden Koordinatenachsen haben, der Aufwand in der Herstellung und vor Allem für die Kalibrierung und die Ansteuerung des Mikrospiegelarrays reduziert werden.

Falls dieses Merkmal in einem Ausführungsbeispiel, bei dem die Mikrospiegel um die erste Achse und um die zweite Achse verkippbar sind, vorgesehen wird, dann können es möglich, Bildpunkte an jedem beliebigen Ort in der Bildebene, also ohne Einhaltung eines Rasters, zu erzeugen, da die Phasenbedingung für jeden Ort der Bildebene durch Einstellen des Hubs gewährleistet werden kann.

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung ist die Steuereinrichtung zum Steuern einer Verschiebeeinrichtung ausgebildet, welche zum Verschieben eines bestrahlbaren Bereichs in einer Verschieberichtung relativ zu einem zu bestrahlenden Objekt ausgebildet ist.

Unter einem bestrahlbaren Bereich kann dabei jener Bereich verstanden werden, in dem ein optisches Muster in einem Arbeitsgang bzw. mit einem Lichtpuls erzeugt werden kann. Form und Größe des bestrahlbaren Bereichs

sind dabei von den Freiheitsgraden der Mikrospiegel, von der Brennweite der Fokussiereinrichtung und von den möglichen Ablenk winkeln der Mikrospiegel abhängig. Sollen Bereiche außerhalb des bestrahlbaren Bereichs bestrahlt werden, kann dies durch relatives Verschieben des zu bestrahlenden Objekts gegenüber dem bestrahlbaren Bereich und durch mehrfache Lichtpulse erreicht werden, sodass ein größerer bestrahlbarer Gesamtbereich entsteht. Dies kann auch als Stitching von optischen Teilmustern bezeichnet werden.

Nach einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist die Verschiebeeinrichtung als mechanische Verschiebeeinrichtung ausgebildet. Die mechanische Verschiebeeinrichtung kann so ausgebildet sein, dass entweder das optische Muster oder das zu bestrahlende Objekt oder beide bewegt werden.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Verschiebeeinrichtung als optische Verschiebeeinrichtung ausgebildet. Dabei kann die optische Verschiebeeinrichtung insbesondere einen oder mehrere verkippbare Spiegel und/oder einen oder mehrere rotierende Polygonspiegel aufweisen.

Nach einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist die Verschiebeeinrichtung so ausgebildet, dass die Verschieberichtung schräg zu einem Punktraster des optischen Musters verläuft. Hierdurch ist es möglich, mittels einer Verschiebung ein Punktraster möglicher Bildpunkte so über das zu bestrahlende Objekt zu verschieben, dass ein bestrahlbarer Bereich das zu bestrahlende Objekt vollständig abdeckt.

In einem weiteren Aspekt wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Erzeugung eines optischen Musters aus Bildpunkten in einer Bildebene, welches folgende Schritte umfasst:

Steuern der Erzeugung des optischen Musters mittels einer Steuereinrichtung;

Reflektieren von Lichtstrahlen, welche flächig auf ein Mikrospiegelarray einfallen, wobei das Mikrospiegelarray eine Vielzahl von Mikrospiegeln aufweist, welche jeweils durch die Steuereinrichtung wenigstens um eine erste Achse

verkippt werden, um eine Richtung eines Schwerpunktstrahls der an dem jeweiligen Mikrospiegel reflektierten Lichtstrahlen einzustellen;

Erzeugen der Lichtstrahlen mittels einer durch die Steuereinrichtung gesteuerten Beleuchtungseinrichtung, wobei die Lichtstrahlen derart erzeugt werden, dass sie wenigstens teilweise räumlich kohärent sind;

Fokussieren der an der Vielzahl von Mikrospiegeln des Mikrospiegelarrays reflektierten Lichtstrahlen auf die Bildebene durch eine Fokussiereinrichtung;

Verwendung der Steuereinrichtung zum Steuern einer aus mehreren Mikrospiegeln der Vielzahl von Mikrospiegeln gebildeten Mikrospiegelgruppe, so dass sich die an den Mikrospiegeln der Mikrospiegelgruppe reflektierten Schwerpunktstrahlen in der Bildebene treffen und dass optische Weglängen der an den Mikrospiegeln der Mikrospiegelgruppe reflektierten Schwerpunktstrahlen von der Beleuchtungseinrichtung bis zur Bildebene gleich sind oder sich um ein ganzzahliges Vielfaches einer Wellenlänge der Lichtstrahlen unterscheiden, um so einen Bildpunkt der Bildpunkte zu erzeugen.

Vorteile und mögliche Weiterbildung sind anhand der erfindungsgemäßen Vorrichtung beschrieben.

Im Folgenden werden die vorliegende Erfindung und deren Vorteile anhand von Figuren näher beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung in einer x-y Ebene;

Figur 2 eine Detailansicht des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung in einer z-y Ebene;

Figur 3 ein Diagramm zur Darstellung der Funktionsweise des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

- Figur 4 eine Detailansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung in einer z-y Ebene;
- 5 Figur 5 eine Detailansicht eines dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung in einer x-y Ebene;
- 10 Figur 6 ein Diagramm zur Darstellung der Funktionsweise des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;
- Figur 7 eine Teilansicht eines vierten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung in einer x-y Ebene;
- 15 Figur 8 eine Teilansicht eines fünften Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung in einer x-y Ebene;
- 20 Figur 9 eine Detailansicht einer Weiterbildung des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung;
- 25 Figur 10 eine Detailansicht einer Weiterbildung des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung;
- 30 Figur 11 eine Detailansicht einer Weiterbildung des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung; und
- Figur 12 eine Detailansicht einer Weiterbildung des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung.

Gleiche oder gleichartige Elemente oder Elemente mit gleicher oder äquivalenter Funktion sind im Folgenden mit gleichen oder gleichartigen Bezugszeichen versehen.

- 5 In der folgenden Beschreibung werden Ausführungsbeispiele mit einer Vielzahl von Merkmalen der vorliegenden Erfindung näher beschrieben, um ein besseres Verständnis der Erfindung zu vermitteln. Es ist jedoch festzuhalten, dass die vorliegende Erfindung auch unter Auslassung einzelner der beschriebenen Merkmale umgesetzt werden kann. Es sei auch darauf hingewiesen, dass die in verschiedenen Ausführungsbeispielen gezeigten Merkmale auch in anderer Weise kombinierbar sind, sofern dies nicht ausdrücklich ausgeschlossen ist oder zu Widersprüchen führen würde.

Figur 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 in einer schematischen Darstellung. Die Vorrichtung zur Erzeugung eines optischen Musters OM aus Bildpunkten BP in einer Bildebene BE umfasst folgende Merkmale:

20 eine Steuereinrichtung 2 zum Steuern der Erzeugung des optischen Musters OM;

ein Mikrospiegelarray 3 zum Reflektieren von Lichtstrahlen LS, welche flächig auf das Mikrospiegelarray 3 einfallen, wobei das Mikrospiegelarray 3 eine Vielzahl von Mikrospiegeln 4 aufweist, welche jeweils durch die Steuereinrichtung 2 wenigstens um eine erste Achse EA verkippter sind, so dass eine Richtung eines Schwerpunktstrahls SST der an dem jeweiligen Mikrospiegel 4 reflektierten Lichtstrahlen LS einstellbar ist;

30 eine durch die Steuereinrichtung 2 steuerbare Beleuchtungseinrichtung 5 zum Erzeugen der Lichtstrahlen LS, welche so ausgebildet ist, dass die Lichtstrahlen LS wenigstens teilweise räumlich kohärent sind;

eine Fokussiereinrichtung 6 zum Fokussieren der an der Vielzahl von Mikrospiegeln 4 des Mikrospiegelarrays 3 reflektierten Lichtstrahlen LS auf die Bildebene BE;

35

wobei die Steuereinrichtung 2 zum derartigen Steuern einer oder mehrerer aus mehreren Mikrospiegeln 4 der Vielzahl von Mikrospiegeln 4 gebildeten Mikrospiegelgruppen 7 ausgebildet ist, dass sich die an den Mikrospiegeln 4 einer der Mikrospiegelgruppen 7 reflektierten Schwerpunktstrahlen SST in der Bildebene BE treffen und dass optische Weglängen der an den Mikrospiegeln 4 der jeweiligen Mikrospiegelgruppe 7 reflektierten Schwerpunktstrahlen SST von der Beleuchtungseinrichtung 5 bis zur Bildebene BE gleich sind oder sich um ein ganzzahliges Vielfaches einer Wellenlänge der Lichtstrahlen LS unterscheiden, um so einen Bildpunkt BP der Bildpunkte BP zu erzeugen.

In der Ansicht der Figur 1 ist lediglich eine Spalte des Mikrospiegelarrays 3 sichtbar, beispielhaft vier Mikrospiegel 4.1 bis 4.4. Weitere 3 Spalten des Mikrospiegelarrays 3 sind dabei verdeckt. Dies ist jedoch insoweit als beispielhaft zu verstehen, als in der Praxis wesentlich mehr Spalten mit jeweils wesentlich mehr Mikrospiegeln 4 vorgesehen sein können.

Von den Lichtstrahlen LS sind lediglich Schwerpunktstrahl SST1, welcher am Mikrospiegel 4.1 reflektiert wird, Schwerpunktstrahl SST2, welcher am Mikrospiegel 4.2 reflektiert wird, Schwerpunktstrahl SST3, welcher am Mikrospiegel 4.3 reflektiert wird, und Schwerpunktstrahl SST 4, welcher am Mikrospiegel 4.4 reflektiert wird, dargestellt.

Dabei wird durch eine interferierende Überlagerung der kohärenten Schwerpunktstrahlen SST1 bis SST4 der Bildpunkt BP erzeugt.

Die Steuereinrichtung 2 ist zur Steuerung des Mikrospiegelarrays 3 mittels Steuerdaten STM und zur Steuerung der Beleuchtungseinrichtung 5 mittels Steuerdaten STB ausgebildet.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Steuereinrichtung 2 zum Steuern einer Intensität der Beleuchtungseinrichtung 5 ausgebildet. Da die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 das gesamte vom Mikrospiegelarray 3 reflektierte Licht nutzt, ist es sinnvoll, wenn die Intensität der Beleuchtungseinrichtung 5 schnell veränderbar ist. Dann kann zu jedem Zeitpunkt genau so viel Licht LS erzeugt werden, wie entsprechend dem zu er-

zeugenden optischen Muster OM aktuell gebraucht wird. Lässt die Beleuchtungseinrichtung 5 eine ausreichend schnelle Modulation nicht zu, kann alternativ oder zusätzlich ein Absorber eingesetzt werden, der beispielsweise so ausgebildet ist, dass er bei großen Mikrospiegelwinkeln bestrahlt wird und dadurch Licht LS absorbiert.

In einem weiteren Aspekt betrifft der Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung eines optischen Musters OM aus Bildpunkten BP in einer Bildebene BE, welches folgende Schritte umfasst:

Steuern der Erzeugung des optischen Musters OM mittels einer Steuereinrichtung 2;

Reflektieren von Lichtstrahlen LS, welche flächig auf ein Mikrospiegelarray 3 einfallen, wobei das Mikrospiegelarray 3 eine Vielzahl von Mikrospiegeln 4 aufweist, welche jeweils durch die Steuereinrichtung 2 wenigstens um eine erste Achse EA verkippt werden, um eine Richtung eines Schwerpunktstrahls SST der an dem jeweiligen Mikrospiegel 4 reflektierten Lichtstrahlen LS einzustellen;

Erzeugen der Lichtstrahlen LS mittels einer durch die Steuereinrichtung 2 gesteuerten Beleuchtungseinrichtung 5, wobei die Lichtstrahlen LS derart erzeugt werden, dass sie wenigstens teilweise räumlich kohärent sind;

Fokussieren der an der Vielzahl von Mikrospiegeln 4 des Mikrospiegelarrays 3 reflektierten Lichtstrahlen LS auf die Bildebene BE durch eine Fokussiereinrichtung 6;

Verwendung der Steuereinrichtung 2 zum Steuern einer aus mehreren Mikrospiegeln 4 der Vielzahl von Mikrospiegeln 4 gebildeten Mikrospiegelgruppe 7, so dass sich die an den Mikrospiegeln 4 der Mikrospiegelgruppe 7 reflektierten Schwerpunktstrahlen 7 in der Bildebene BE treffen und dass optische Weglängen der an den Mikrospiegeln 4 der Mikrospiegelgruppe 7 reflektierten Schwerpunktstrahlen SST von der Beleuchtungseinrichtung 5 bis zur Bildebene BE gleich sind oder sich um ein ganzzahliges Vielfaches einer

Wellenlänge der Lichtstrahlen LS unterscheiden, um so einen Bildpunkt BP der Bildpunkte BP zu erzeugen.

5 Figur 2 zeigt eine Detailansicht des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 in einer schematischen Darstellung.

Im ersten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 sind die einzelnen Mikrospiegel 4 des Mikrospiegelarrays 3 um genau eine erste Achse EA verkipptbar und ansonsten festgelegt. Dabei können die Mikrospie-
10 gel 4.1, 4.5, 4.9, 4.13 einer ersten Zeile des Mikrospiegelarrays 3 um eine erste gemeinsame erste Achse EA1, jedoch unabhängig voneinander, verkipptbar sein, welche parallel zu der ersten Zeile ausgerichtet ist. Die Mikrospiegel 4.2, 4.6, 4.10, 4.14 der zweiten Zeile sind jeweils um eine zweite gemeinsame erste Achse EA2 unabhängig voneinander verkipptbar, die Mikrospiegel 4.3, 4.7, 4.11, 4.15 der dritten Zeile sind um eine dritte gemeinsame erste Achse EA3 unabhängig voneinander verkipptbar und die Mikrospiegel 4.4, 4.8, 4.12, 4.16 der vierten Zeile sind um eine vierte gemeinsame erste Achse EA4 unabhängig voneinander verkipptbar, wobei die ersten Achsen EA1-EA4 der verschiedenen Zeilen jeweils parallel zueinander ausgerichtet
20 sein können.

In diesem Fall kann die Mikrospiegelgruppe 7.1 aus den Mikrospiegeln 4.1, 4.2, 4.3 und 4.4, welche jeweils in derselben Spalte des Mikrospiegelarrays 3 angeordnet sind, gebildet werden. Die Mikrospiegelgruppe 7.2 kann aus den
25 Mikrospiegeln 4.5, 4.6, 4.7 und 4.8, welche jeweils in derselben Spalte des Mikrospiegelarrays 3 angeordnet sind, gebildet werden, die Mikrospiegelgruppe 7.3 kann aus den Mikrospiegeln 4.9, 4.10, 4.11 und 4.12, welche jeweils in derselben Spalte des Mikrospiegelarrays 3 angeordnet sind, gebildet werden und die Mikrospiegelgruppe 7.4 kann aus Mikrospiegeln 4.13, 4.14, 4.15 und 4.16, welche jeweils in derselben Spalte des Mikrospiegelarrays 3 angeordnet sind, gebildet werden. Die Mikrospiegelgruppen sind also beispielhaft nach Art einer 4 x 1 Matrix angeordnet.
30

Wenn die Mikrospiegel 4 lediglich um eine erste Achse EA verkipptbar sind,
35 ist die Erzeugung eindimensionaler optischer Muster möglich.

Die Bedingung der Phasengleichheit der Schwerpunktstrahlen in einer Mikrospiegelgruppe 7, die gemeinsam für einen Bildpunkt BP genutzt werden, kann hierbei jedoch nur für diskrete Bildpunkte BP erfüllt werden, wobei der Abstand der möglichen Bildpunkte BP von dem Abstand der Mikrospiegel 4 abhängt. Damit ist das Kontinuum möglicher Bildpunkte BP in der Bildebene BE auf das diskrete Raster der Beugungsordnungen des Mikrospiegelarrays 3 eingeschränkt. Der Vorteil dieses Ausführungsbeispiels besteht jedoch darin, dass die Menge der benötigten Steuerdaten für das Mikrospiegelarray 3 und die mechanische Komplexität des Mikrospiegelarrays vergleichsweise gering ist.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung beträgt eine Länge L der Mikrospiegel 4 und/oder eine Breite B der Mikrospiegel 4 mindestens das 5-fache, bevorzugt mindestens das 10-fache, und besonders bevorzugt das 20-fache, der Wellenlänge der Lichtstrahlen LS. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass an den einzelnen Mikrospiegeln 4 eine Umlenkung der Lichtstrahlen LS nach der Gleichung Einfallwinkel = Ausfallwinkel erfolgt. Zudem kann so die Anzahl der erforderlichen Mikrospiegel 4 gering gehalten werden, so dass die Menge der benötigten Steuerdaten und der Fertigungsaufwand für das Mikrospiegelarray klein gehalten werden kann.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Steuereinrichtung 2 zum derartigen Bilden einer der Mikrospiegelgruppen 7 ausgebildet, dass eine der Mikrospiegelgruppen 7 aus benachbarten Mikrospiegeln 4 der Vielzahl von Mikrospiegeln 4 gebildet ist. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass die auf die Mikrospiegel 4 der derart gebildeten Mikrospiegelgruppe 7 einfallenden Lichtstrahlen besonders kohärent sind, so dass besonders scharf begrenzte Bildpunkte BP erzeugbar sind.

Gemäß einer nicht gezeigten vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann die Steuereinrichtung 2 zusätzlich zum derartigen Steuern der Mikrospiegelgruppen 7 ausgebildet sein, dass zwei benachbarte Bildpunkte BP der Bildpunkte BP durch zwei nicht benachbarte Mikrospiegelgruppen 7 der Mikrospiegelgruppen 7 erzeugbar sind. Hierdurch ist es möglich, dass neben den besonders scharf begrenzten Bildpunkten BP auch Bildpunkte BP mit weichen Übergängen erzeugbar sind, da die Kohärenz der auf die Mikrospie-

gel 4 der jeweiligen Mikrospiegelgruppe 7 einfallenden Lichtstrahlen LS in der Praxis abnimmt, wenn die Mikrospiegelgruppen 7 räumlich beanstandet sind.

- 5 Bei Verwendung einer teilkohärenten Beleuchtung können benachbarte bzw. überlappende Bildpunkte BP in der Bildebene BE von nicht benachbarten Mikrospiegelgruppen 7 gebildet werden, deren Abstand oberhalb der räumlichen Kohärenzlänge liegt. Damit ist es neben der Erzeugung besonders scharfer Bildpunkte BP möglich, breitere Lichtverteilungen mit weiche-
- 10 Übergängen zu erzeugen, indem die zur Erzeugung des einen benachbarten Bildpunktes BP verwendeten Lichtstrahlen LS so ausgewählt werden, dass sie inkohärent im Verhältnis zu den Lichtstrahlen LS sind, welche zur Erzeugung des anderen benachbarten Bildpunktes BP verwendet werden.
- 15 Figur 3 zeigt ein Diagramm zur Darstellung der Funktionsweise des ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1.

- Dabei zeigt Figur 3 eine eindimensionale Simulation der Verteilung der Strahlungsintensität SI.K in der Bildebene BE bei Überlagerung der kohärenten
- 20 Lichtbündel mit den Schwerpunktstrahlen SST1 bis SST4 der Mikrospiegel 4.1 bis 4.4 der Mikrospiegelgruppe 7.1 und zum Vergleich die Verteilung der Strahlungsintensität SI.I in der Bildebene BE bei Überlagerung von entsprechenden inkohärenten Lichtbündeln von 4 derartigen Mikrospiegeln. Es ist klar erkennbar, dass die Strahlungsintensität SI.K das vier-fache Maximum
- 25 der Strahlungsintensität SI.I erreicht, wobei die Halbwertsbreite auf 1/4 absinkt, so dass ein scharfer und heller Bildpunkt BP entsteht. Eine derartige Verteilung der Strahlungsintensität SI.K ist jedoch, wenn der Hub der Mikrospiegel 4 nicht einstellbar ist, lediglich an denjenigen diskreten Punkten möglich, an denen eine ganzzahlige Beugungsordnung des Gitters der Mikro-
- 30 spiegel liegt.

Figur 4 zeigt eine Detailansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 in einer schematischen Darstellung.

- 35 Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind die Mikrospiegel 4 jeweils durch die Steuereinrichtung 2 zusätzlich um eine zweite Achse ZA,

welche quer zu der ersten Achse EA verläuft, verkipptbar, so dass die Richtung des Schwerpunktstrahls SST der an dem jeweiligen Mikrospiegel 4 reflektierten Lichtstrahlen LS zweidimensional einstellbar ist. Auf diese Weise kann der erzeugte Bildpunkt in der Bildebene sowohl in x- wie auch in y-Richtung positioniert werden.

Dabei können die Mikrospiegel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 einer ersten Spalte des Mikrospiegelarrays 3 um eine erste gemeinsame zweite Achse ZA1, jedoch unabhängig voneinander, verkipptbar sein, welche parallel zu der ersten Spalte ausgerichtet ist. Die Mikrospiegel 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 der zweiten Spalte sind jeweils um eine zweite gemeinsame zweite Achse ZA2 unabhängig voneinander verkipptbar, die Mikrospiegel 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 der dritten Spalte sind um eine dritte gemeinsame erste Achse ZA3 unabhängig voneinander verkipptbar und die Mikrospiegel 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 der vierten Spalte sind um eine vierte gemeinsame zweite Achse ZA4 unabhängig voneinander verkipptbar, wobei die zweiten Achsen ZA1-ZA4 der verschiedenen Spalten jeweils parallel zueinander ausgerichtet sein können.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung die ist Steuereinrichtung 2 zum derartigen Bilden einer der Mikrospiegelgruppen 7 ausgebildet, dass eine der Mikrospiegelgruppen 7 aus zweidimensional angeordneten Mikrospiegeln 7 der Vielzahl von Mikrospiegeln 7 gebildet ist.

In diesem Fall kann die Mikrospiegelgruppe 7.1 aus den Mikrospiegeln 4.1, 4.2, 4.5 und 4.6, welche in der ersten bzw. zweiten Spalte des Mikrospiegelarrays 3 angeordnet sind, gebildet werden. Die Mikrospiegelgruppe 7.2 kann aus den Mikrospiegeln 4.3, 4.4, 4.7 und 4.8, welche jedenfalls in der ersten bzw. zweiten Spalte des Mikrospiegelarrays 3 angeordnet sind, gebildet werden, die Mikrospiegelgruppe 7.3 kann aus den Mikrospiegeln 4.9, 4.10, 4.13 und 4.14, welche in der dritten bzw. vierten Spalte des Mikrospiegelarrays 3 angeordnet sind, gebildet werden und die Mikrospiegelgruppe 7.4 kann aus Mikrospiegeln 4.11, 4.12, 4.15 und 4.16, welche ebenfalls in der dritten bzw. vierten Spalte des Mikrospiegelarrays 3 angeordnet sind, gebildet werden.

Figur 5 zeigt eine Detailansicht eines dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 in einer schematischen Darstellung.

5 Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind die Mikrospiegel 4 jeweils durch die Steuereinrichtung 2 längs einer Hubrichtung HR, welche quer zu einer Spiegelfläche 8 des jeweiligen Mikrospiegels 4 verläuft, verschiebbar, so dass die optische Weglänge des an dem jeweiligen Mikrospiegel 4 reflektierten Schwerpunktstrahls SST veränderbar ist.

10 Falls dieses Merkmal in dem zweiten Ausführungsbeispiel, bei dem die Mikrospiegel 4 um die erste Achse EA und um die zweite Achse ZA verkippbar sind, vorgesehen wird, dann können die Bildpunkte BP beliebig, also ohne Einhaltung eines Rasters, in der Bildebene BE erzeugt werden, da die Phasenbedingung für jeden Punkt der Bildebene BE durch Einstellen des Hubs
15 gewährleistet werden kann.

Wenn dieses Merkmal in dem ersten Ausführungsbeispiel, bei dem die Mikrospiegel 4 genau um die erste Achse EA verkippbar sind, vorgesehen wird, dann können die Bildpunkte BP kontinuierlich auf einer Linie erzeugt werden,
20 da die Phasenbedingung für jeden Punkt der Linie durch Einstellen des Hubs gewährleistet werden kann. Dabei kann insbesondere in Anwendungen, die in der Bildebene BE unterschiedliche Anforderungen für die beiden Koordinatenachsen haben, der Aufwand in der Herstellung und vor Allem für die Kalibrierung und die Ansteuerung des Mikrospiegelarrays 3 reduziert werden. Aus
25 einer derartigen Bildlinie kann durch Scannen quer zu Ihrer Ausdehnung wiederum ein 2-dimensionales Bild erzeugt werden. Dies kann besonders vorteilhaft genutzt werden, wenn sich z. B ein zu bearbeitendes Werkstück auf einem Förderband an der Belichtungseinheit linear vorbei bewegt. Siehe hierzu Figur 10.

30 Figur 6 zeigt ein Diagramm zur Darstellung der Funktionsweise der Weiterbildung des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1.

35 Dabei zeigt Figur 6 eine eindimensionale Simulation der Verteilung der Strahlungsintensität SI.K in der Bildebene BE bei Überlagerung der kohärenten

Lichtbündel mit den Schwerpunktstrahlen SST1 bis SST4 der Mikrospiegel 4.1 bis 4.4 der Mikrospiegelgruppe 7.1 und zum Vergleich die Verteilung der Strahlungsintensität SI.I in der Bildebene BE bei Überlagerung von entsprechenden inkohärenten Lichtbündeln von 4 derartigen Mikrospiegeln. Der Unterschied zur Figur 3 besteht darin, dass nun die gezeigte Verteilung der Strahlungsintensitäten SS.K und SS.I durch eine Einstellung des Hubs der Mikrospiegel 4 unabhängig von den Orten der ganzzahligen Beugungsordnungen des Gitters der Mikrospiegel erzielt werden kann.

Figur 7 zeigt eine Teilansicht eines vierten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung in einer x-y Ebene. Hierbei bilden die Mikrospiegel 4.1 und 4.2 eine erste Mikrospiegelgruppe 7.1. Der Schwerpunktstrahl SST 1 des Mikrospiegels 4.1 und der Schwerpunktstrahl SST 2 des Mikrospiegels 4.2 werden dabei in der Bildebene BE überlagert, wobei der Bildpunkt BP1 entsteht. Weiterhin werden der Schwerpunktstrahl SST 3 des Mikrospiegels 4.3, der Schwerpunktstrahl SST 4 des Mikrospiegels 4.4 und der Schwerpunktstrahl SST 5 des Mikrospiegels 4.5 in der Bildebene BE überlagert, so dass der Bildpunkt BP2 entsteht.

Da der Bildpunkt BP1 durch nur zwei Schwerpunktstrahlen SST1, SST2 erzeugt wird, während der Bildpunkt BP2 von drei Schwerpunktstrahlen SST3, SST4, SST5, ist die maximale Intensität des Bildpunktes BP1 geringer als die maximale Intensität des Bildpunktes BP2. Aus demselben Grund ist die Halbwertsbreite des Bildpunktes BP1 größer als die Halbwertsbreite des Bildpunktes BP2.

Figur 8 zeigt eine Teilansicht eines fünften Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung in einer x-y Ebene. Das fünfte Ausführungsbeispiel ähnelt dem vierten Ausführungsbeispiel. Im fünften Ausführungsbeispiel ist jedoch die Fokussiereinrichtung 6, in Ausbreitungsrichtung der Lichtstrahlen LS gesehen, vor dem Mikrospiegelarray 3 angeordnet.

Figur 9 zeigt eine Detailansicht einer Weiterbildung des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 in einer schematischen Darstellung.

5 Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Steuereinrichtung 2 zum Steuern einer Verschiebeeinrichtung ausgebildet, welche zum Verschieben eines bestrahlbaren Bereichs BB in einer Verschieberichtung VR relativ zu einem zu bestrahlenden Objekt OB ausgebildet ist. Unter einem bestrahlbaren Bereich BB kann dabei jener Bereich verstanden werden, in dem ein optisches Muster OM in einem Arbeitsgang bzw. mit einem einzelnen Lichtpuls erzeugt werden kann. Form und Größe des bestrahlbaren Bereichs BB sind dabei von den Freiheitsgraden der Mikrospiegel 4, von der Brennweite der Fokussiereinrichtung 6 und von den möglichen Ablenk-
10 winkeln der Mikrospiegel 4 abhängig. Sollen Bereiche außerhalb des bestrahlbaren Bereichs bestrahlt werden, kann dies durch relatives Verschieben des zu bestrahlenden Objekts OB gegenüber dem bestrahlbaren Bereich BB und durch mehrfache Lichtpulse erreicht werden, sodass ein größerer bestrahlbarer Gesamtbereich BGB entsteht. Dies kann auch als Stitching von optischen Teilmustern bezeichnet werden. Beim Ausführungsbeispiel der Figur 9 besteht der bestrahlbare Bereich BB aus einem zweidimensionalen Punktraster mit 20 möglichen Bildpunkten. Ein derartiges zweidimensionales Punktraster kann mit Mikrospiegeln 4 erzeugt werden, welche um zwei Achsen EA, ZA
15 verkipptbar, aber nicht in Hubrichtung HR einstellbar sind.

25 Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Verschiebeeinrichtung als mechanische Verschiebeeinrichtung ausgebildet. Die mechanische Verschiebeeinrichtung kann so ausgebildet sein, dass entweder das optische Muster OM oder das zu bestrahlende Objekt OB oder beide bewegt werden.

30 Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Verschiebeeinrichtung als optische Verschiebeeinrichtung ausgebildet. Dabei kann die optische Verschiebeeinrichtung insbesondere einen oder mehrere verkipptbare Spiegel und/oder einen oder mehrere rotierende Polygonspiegel aufweisen.

35

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Verschiebeeinrichtung VR so ausgebildet, dass die Verschieberichtung schräg zu einem Punktraster des optischen Musters OM verläuft. Hierdurch ist es auch bei denjenigen Ausführungsbeispielen, bei denen die Mikrospiegel lediglich ver-
5 kippbar, aber nicht in Hubrichtung bewegbar sind, so dass Bildpunkte lediglich auf einem diskreten Punktraster erzeugbar sind, möglich, das Punktraster möglicher Bildpunkte BP so über das zu bestrahlende Objekt OB zu verschieben, dass der bestrahlbare Gesamtbereich BGB das zu bestrahlende Objekt OB vollständig abdeckt.

10 Figur 10 zeigt eine Detailansicht einer Weiterbildung des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung. Beim Ausführungsbeispiel der Figur 10 besteht der bestrahlbare Bereich BB in der Bildebene BE aus einem linienförmigen Kontinuum möglicher Bildpunkte. Da die Verschieberichtung VR quer zur Ausrichtung des
15 linienförmigen Kontinuums vorgesehen ist, ergibt sich ein viereckiger bestrahlbarer Gesamtbereich BGB. Ein linienförmiger kontinuierlicher bestrahlbarer Bereich BB kann beispielsweise mit einem Mikrospiegelarray 3 erzeugt werden, bei dem die Mikrospiegel 4 lediglich um eine Achse EA verkipptbar,
20 jedoch auch in Hubrichtung HR einstellbar, sind.

Figur 11 zeigt eine Detailansicht einer Weiterbildung des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung. Beim Ausführungsbeispiel der Figur 11 besteht der bestrahlbare
25 Bereich BB in der Bildebene BE aus einem zweidimensionalen bzw. rechteckförmigen Kontinuum möglicher Bildpunkte. Durch eine diskrete Verschiebung des bestrahlbaren Bereichs BB in der Bildebene BE und in der Verschieberichtung VR entsteht ein bestrahlbarer Gesamtbereich BGB, der wesentlich größer sein kann, als der bestrahlbare Bereich BB selbst. Ein zwei-
30 dimensionales Kontinuum möglicher Bildpunkte kann beispielsweise mit einem Mikrospiegelarray 3 erzeugt werden, bei dem die Mikrospiegel 4 um zwei Achsen EA und ZA verkipptbar und in Hubrichtung HR einstellbar sind.

Figur 12 zeigt eine Detailansicht einer Weiterbildung des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen
35 Darstellung. Im Ausführungsbeispiel der Figur 12 besteht der bestrahlbare

Bereich BB ebenfalls aus einem zweidimensionalen Kontinuum möglicher Bildpunkte. Dabei ist der bestrahlbare Bereich BB in der Bildebene BE sowohl in einer ersten Verschieberichtung VR1 als auch in einer zweiten Verschieberichtung VR2 verschiebbar, so dass der bestrahlbare Gesamtbereich BGB in beide Verschieberichtung ein VR1 und VR2 gegenüber dem bestrahlbaren Bereich BB erweitert werden kann.

Aspekte der Erfindung, welche hierin im Kontext der erfindungsgemäßen Vorrichtung beschrieben sind, repräsentieren ebenso Aspekte des erfindungsgemäßen Verfahrens. Umgekehrt repräsentieren solche Aspekte der Erfindung, welche hierin im Kontext des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben sind, ebenso Aspekte der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Bezugszeichen:

15	1	Vorrichtung zur Erzeugung eines optischen Musters
	2	Steuereinrichtung
	3	Mikrospiegelarray
	4	Mikrospiegel
20	5	Beleuchtungseinrichtung
	6	Fokussiereinrichtung
	7	Mikrospiegelgruppe
	8	Spiegelfläche
25	OM	optisches Muster
	BP	Bildpunkt
	BE	Bildebene
	LS	Lichtstrahlen
	EA	erste Achse
30	SST	Schwerpunktstrahl
	STM	Steuerdaten für das Mikrospiegelarray
	STD	Steuerdaten für die Beleuchtungseinrichtung
	SI	Strahlungsintensität
	L	Länge
35	B	Breite
	ZA	zweite Achse

- HR Hubrichtung
VR Verschieberichtung
OB zu bestrahlendes Objekt
BB bestrahlbarer Bereich
5 BGB bestrahlbarer Gesamtbereich

Quellen:

- 10 [1] US 6,563,567 B1, Hideki Komatsuda et al, „Method and apparatus for illuminating a surface using a projection imaging apparatus“;
- [2] US 8,957,349 B2, Naoya Matsumoto, „Laser machining device and laser machining method“;
- 15 [3] US 8,379,187 B2, Osamu Tanitsu, „Optical unit, illumination optical apparatus, exposure apparatus, and device manufacturing method“.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung eines optischen Musters (OM) aus Bildpunkten (BP) in einer Bildebene (BE), umfassend:

5

eine Steuereinrichtung (2) zum Steuern der Erzeugung des optischen Musters (OM);

10

ein Mikrospiegelarray (3) zum Reflektieren von Lichtstrahlen (LS), welche flächig auf das Mikrospiegelarray (3) einfallen, wobei das Mikrospiegelarray (3) eine Vielzahl von Mikrospiegeln (4) aufweist, welche jeweils durch die Steuereinrichtung (2) wenigstens um eine erste Achse (EA) verkipptbar sind, so dass eine Richtung eines Schwerpunktstrahls (SST) der an dem jeweiligen Mikrospiegel (4) reflektierten Lichtstrahlen (LS)

15

einstellbar ist;

eine durch die Steuereinrichtung (2) steuerbare Beleuchtungseinrichtung (5) zum Erzeugen der Lichtstrahlen (LS), welche so ausgebildet ist, dass die Lichtstrahlen (LS) wenigstens teilweise räumlich kohärent sind;

20

eine Fokussiereinrichtung (6) zum Fokussieren der an der Vielzahl von Mikrospiegeln (4) des Mikrospiegelarrays (3) reflektierten Lichtstrahlen (LS) auf die Bildebene (BE);

25

wobei die Steuereinrichtung (2) zum derartigen Steuern einer oder mehrerer aus mehreren Mikrospiegeln (4) der Vielzahl von Mikrospiegeln (4) gebildeten Mikrospiegelgruppen (7) ausgebildet ist, dass sich die an den Mikrospiegeln (4) einer der Mikrospiegelgruppen (7) reflektierten Schwerpunktstrahlen (SST) in der Bildebene (BE) treffen und dass optische Weglängen der an den Mikrospiegeln (4) der jeweiligen Mikrospiegelgruppe (7) reflektierten Schwerpunktstrahlen (SST) von der Beleuchtungseinrichtung (5) bis zur Bildebene (BE) gleich sind oder sich um ein ganzzahliges Vielfaches einer Wellenlänge der Lichtstrahlen (LS) unterscheiden, um so einen Bildpunkt (BP) der Bildpunkte (BP) zu erzeugen.

35

2. Vorrichtung nach vorstehendem Anspruch, wobei eine Länge (L) der Mikrospiegel (4) und/oder eine Breite (B) der Mikrospiegel (4) mindestens das 5-fache, bevorzugt mindestens das 10-fache, und besonders bevorzugt das 20-fache, der Wellenlänge der Lichtstrahlen (LS) beträgt.
5
3. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Steuereinrichtung (2) zum derartigen Bilden einer der Mikrospiegelgruppen (7) ausgebildet ist, dass eine der Mikrospiegelgruppen (7) aus benachbarten Mikrospiegeln (4) der Vielzahl von Mikrospiegeln (4) gebildet ist.
10
4. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Steuereinrichtung (2) zum derartigen Steuern der Mikrospiegelgruppen (7) ausgebildet ist, dass zwei benachbarte Bildpunkte (BP) der Bildpunkte (BP) durch zwei nicht benachbarte Mikrospiegelgruppen (7) der Mikrospiegelgruppen (7) erzeugbar sind.
15
5. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Steuereinrichtung (2) zum Steuern einer Intensität der Beleuchtungseinrichtung (5) ausgebildet ist.
20
6. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Mikrospiegel (4) jeweils durch die Steuereinrichtung (2) zusätzlich um eine zweite Achse (ZA), welche quer zu der ersten Achse (EA) verläuft, verkippbar sind, so dass die Richtung des Schwerpunktstrahls (SST) der an dem jeweiligen Mikrospiegel (4) reflektierten Lichtstrahlen (LS) zweidimensional einstellbar ist.
25
7. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Steuereinrichtung (2) zum derartigen Bilden einer der Mikrospiegelgruppen (7) ausgebildet ist, dass eine der Mikrospiegelgruppen (7) aus zweidimensional angeordneten Mikrospiegeln (7) der Vielzahl von Mikrospiegeln (7) gebildet ist.
30
8. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Mikrospiegel (4) jeweils durch die Steuereinrichtung (2) längs einer Hubrichtung (HR), welche quer zu einer Spiegelfläche (8) des jeweiligen Mikro-
35

spiegels (4) verläuft, verschiebbar sind, so dass die optische Weglänge des an dem jeweiligen Mikrospiegel (4) reflektierten Schwerpunktstrahls (SST) veränderbar ist.

- 5 9. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Steuereinrichtung (2) zum Steuern einer Verschiebeeinrichtung ausgebildet ist, welche zum Verschieben eines bestrahlbaren Bereichs (BB) in einer Verschieberichtung (VR) relativ zu einem zu bestrahlenden Objekt (OB) ausgebildet ist.

10

10. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Verschiebeeinrichtung als mechanische Verschiebeeinrichtung ausgebildet ist.

15

11. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Verschiebeeinrichtung als optische Verschiebeeinrichtung ausgebildet ist.

12. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Verschiebeeinrichtung (VR) so ausgebildet ist, dass die Verschieberichtung schräg zu einem Punktraster des optischen Musters (OM) verläuft.

20

13. Verfahren zur Erzeugung eines optischen Musters (OM) aus Bildpunkten (BP) in einer Bildebene (BE), umfassend die Schritte:

25

Steuern der Erzeugung des optischen Musters (OM) mittels einer Steuereinrichtung (2);

30

Reflektieren von Lichtstrahlen (LS), welche flächig auf ein Mikrospiegelarray (3) einfallen, wobei das Mikrospiegelarray (3) eine Vielzahl von Mikrospiegeln (4) aufweist, welche jeweils durch die Steuereinrichtung (2) wenigstens um eine erste Achse (EA) verkippt werden, um eine Richtung eines Schwerpunktstrahls (SST) der an dem jeweiligen Mikrospiegel (4) reflektierten Lichtstrahlen (LS) einzustellen;

35

Erzeugen der Lichtstrahlen (LS) mittels einer durch die Steuereinrichtung (2) gesteuerten Beleuchtungseinrichtung (5), wobei die Lichtstrah-

len (LS) derart erzeugt werden, dass sie wenigstens teilweise räumlich kohärent sind;

5 Fokussieren der an der Vielzahl von Mikrospiegeln (4) des Mikrospiegelarrays (3) reflektierten Lichtstrahlen (LS) auf die Bildebene (BE) durch eine Fokussiereinrichtung (6);

10 Verwendung der Steuereinrichtung (2) zum Steuern einer aus mehreren Mikrospiegeln (4) der Vielzahl von Mikrospiegeln (4) gebildeten Mikrospiegelgruppe (7), so dass sich die an den Mikrospiegeln (4) der Mikrospiegelgruppe (7) reflektierten Schwerpunktstrahlen (7) in der Bildebene (BE) treffen und dass optische Weglängen der an den Mikrospiegeln (4) der Mikrospiegelgruppe (7) reflektierten Schwerpunktstrahlen (SST) von der Beleuchtungseinrichtung (5) bis zur Bildebene (BE) gleich sind oder
15 sich um ein ganzzahliges Vielfaches einer Wellenlänge der Lichtstrahlen (LS) unterscheiden, um so einen Bildpunkt (BP) der Bildpunkte (BP) zu erzeugen.

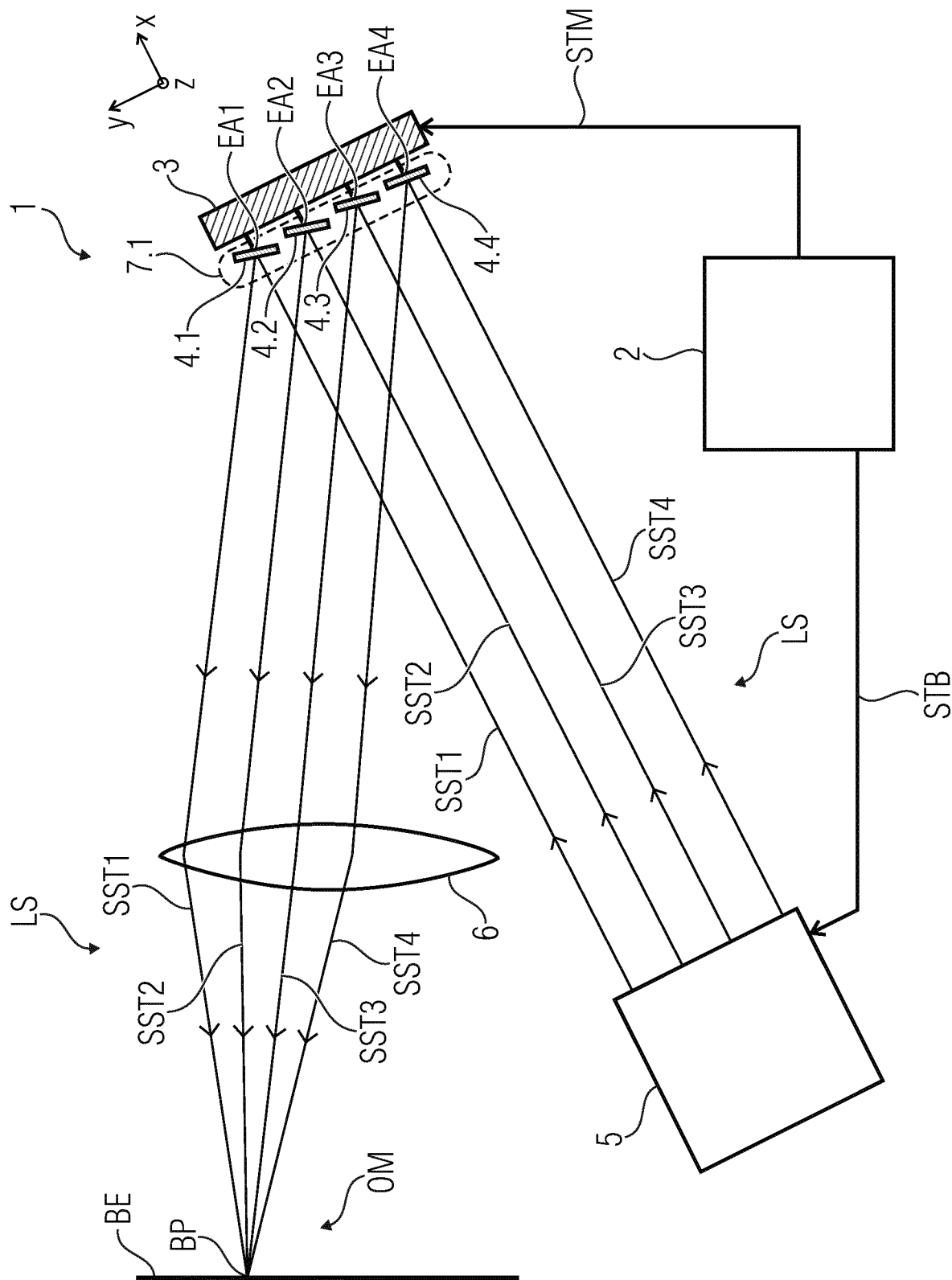
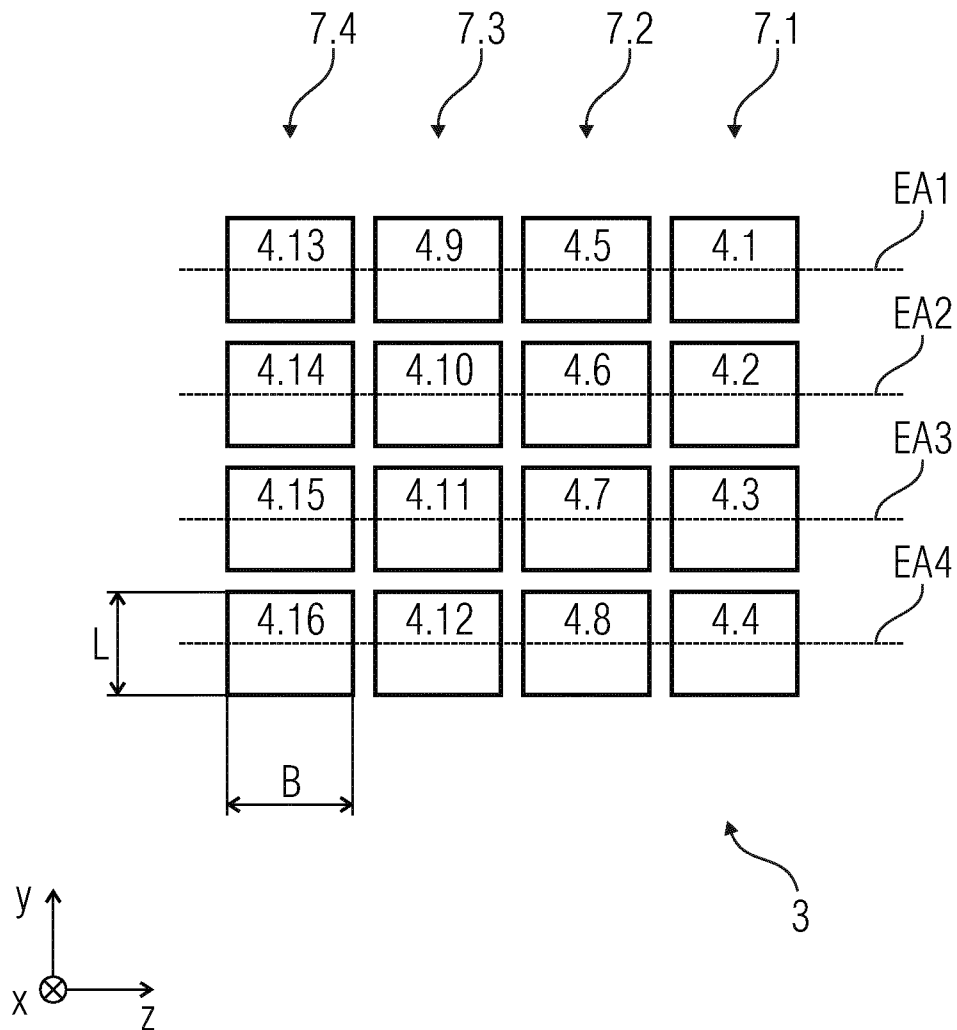
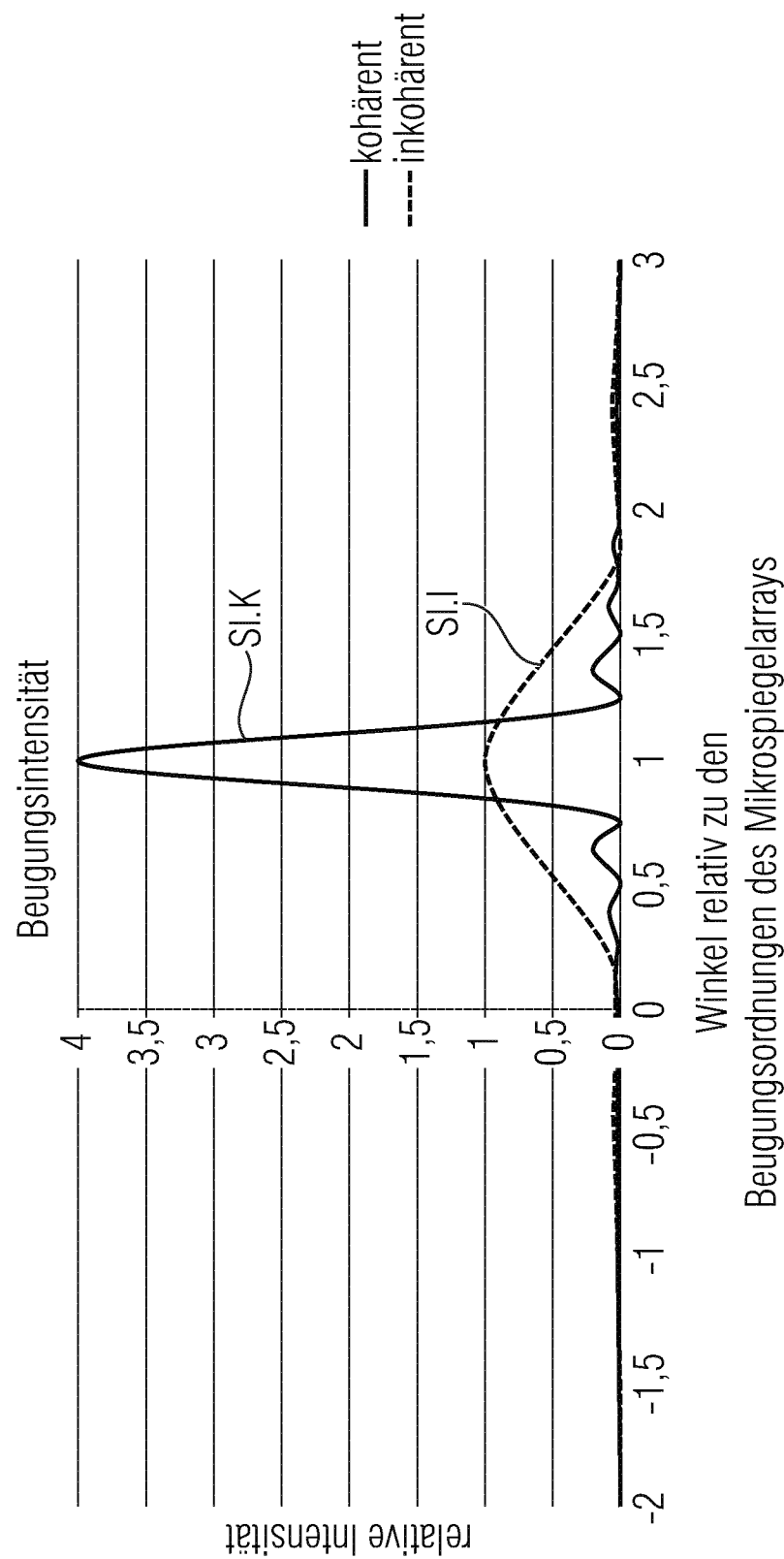


Figure 1

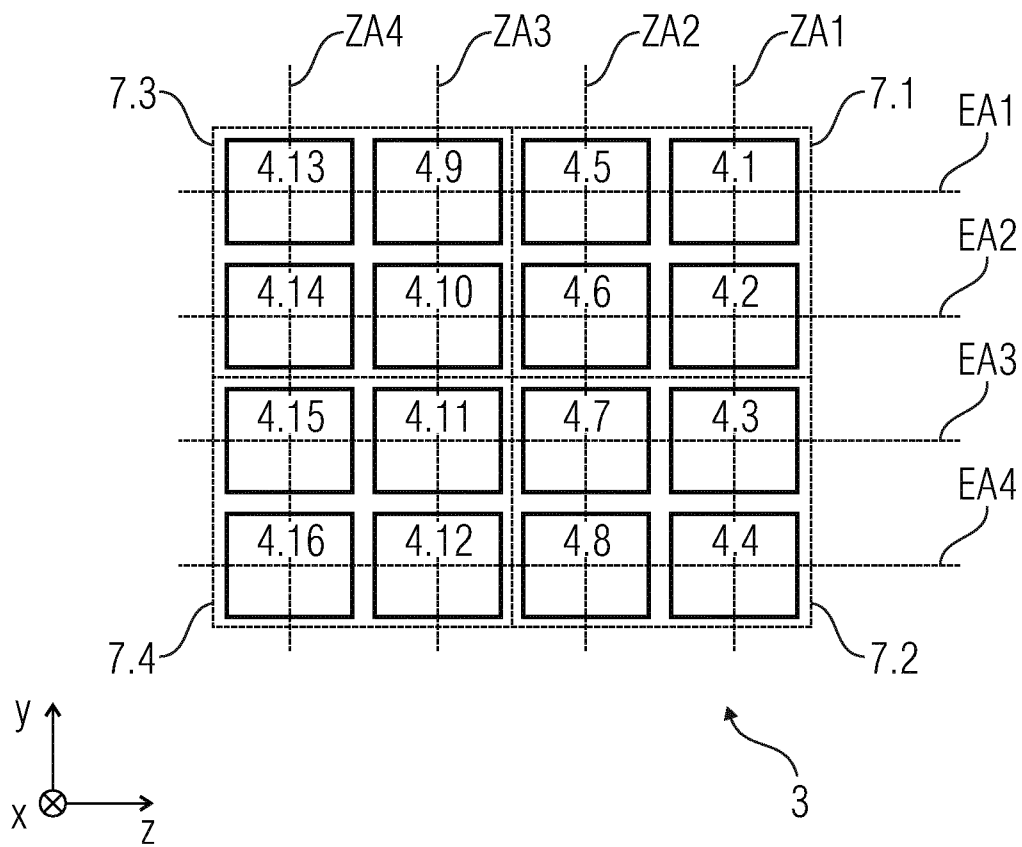


Figur 2

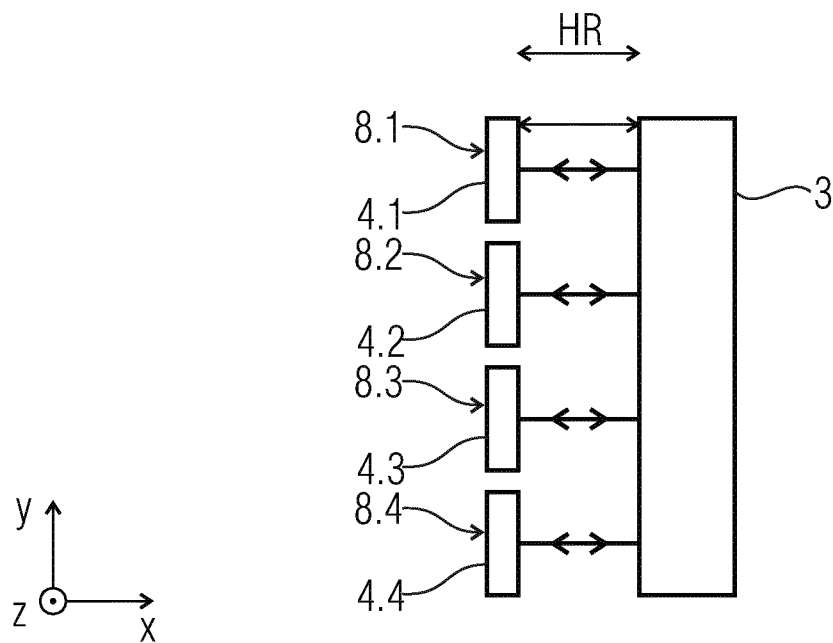


Figur 3

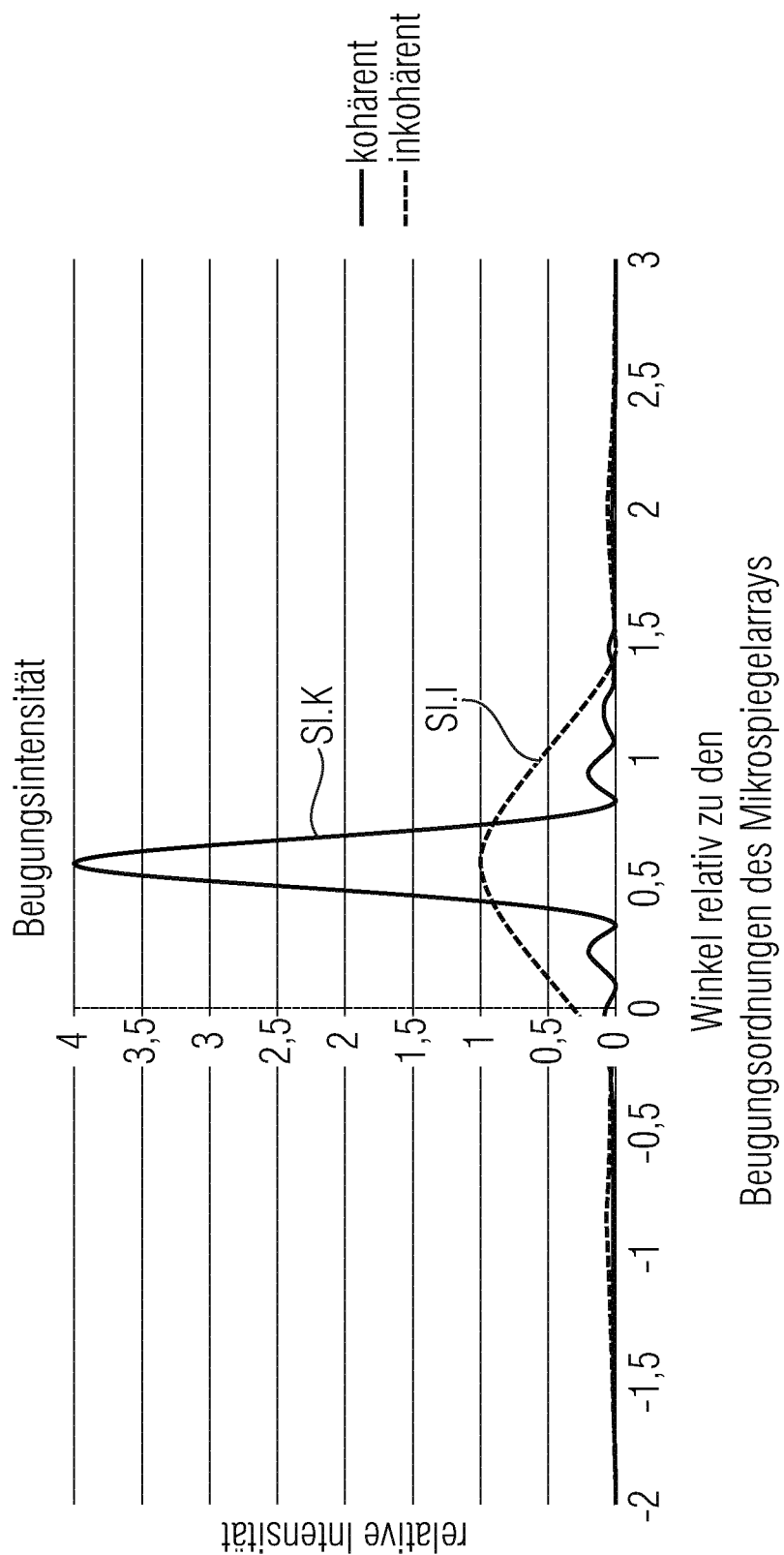
4/11



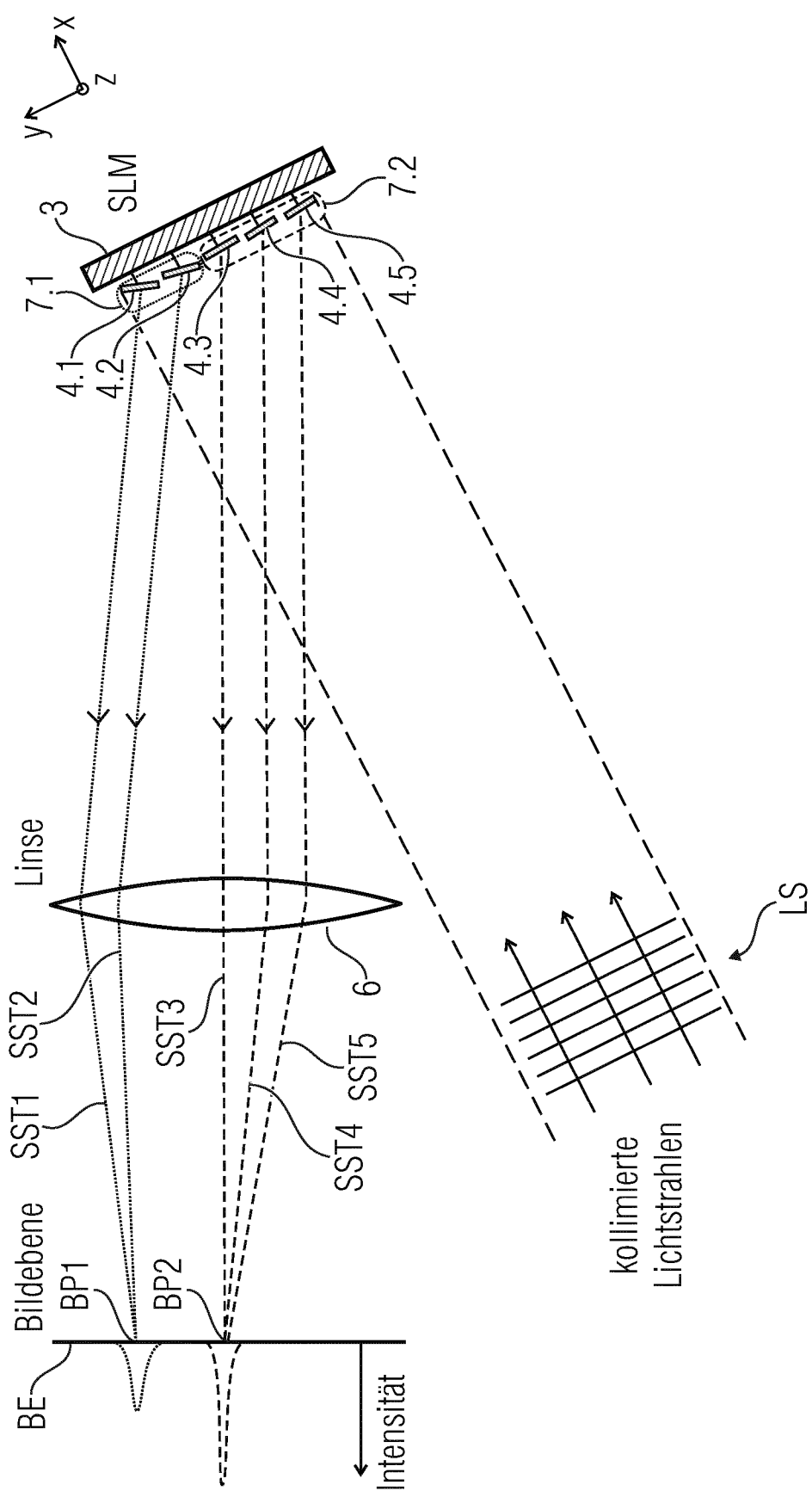
Figur 4



Figur 5



Figur 6



Figur 7

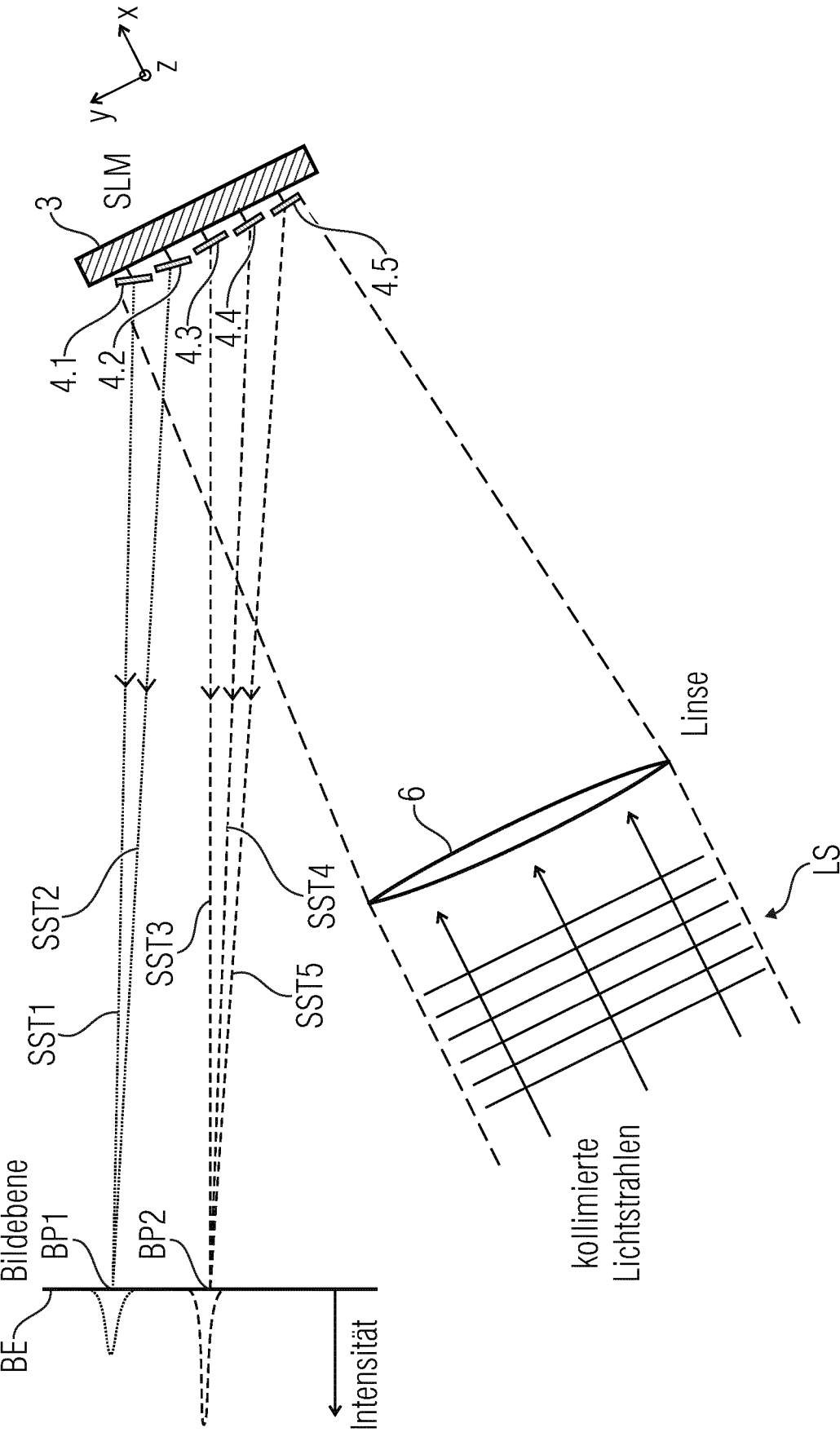


Figure 8

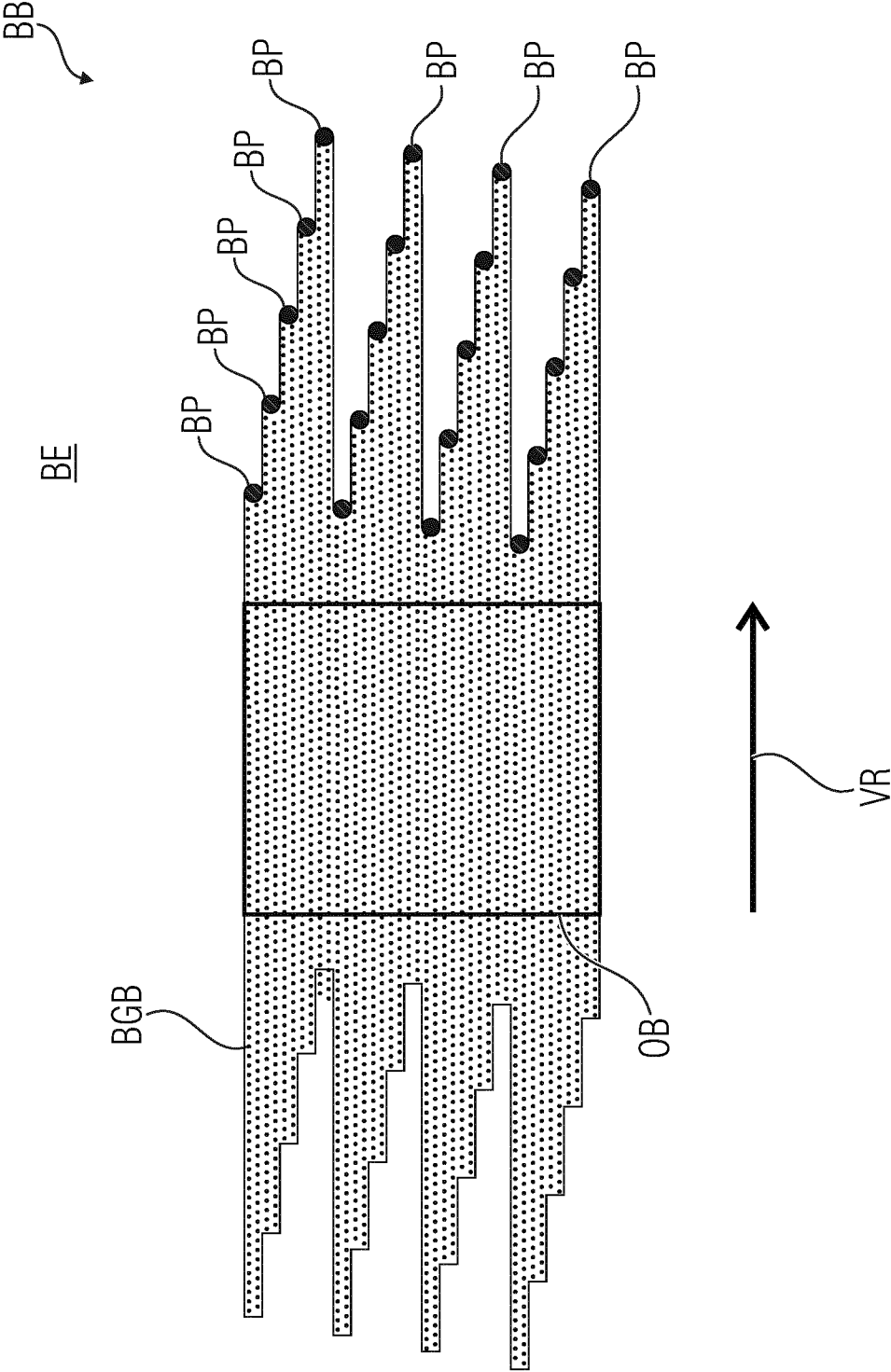
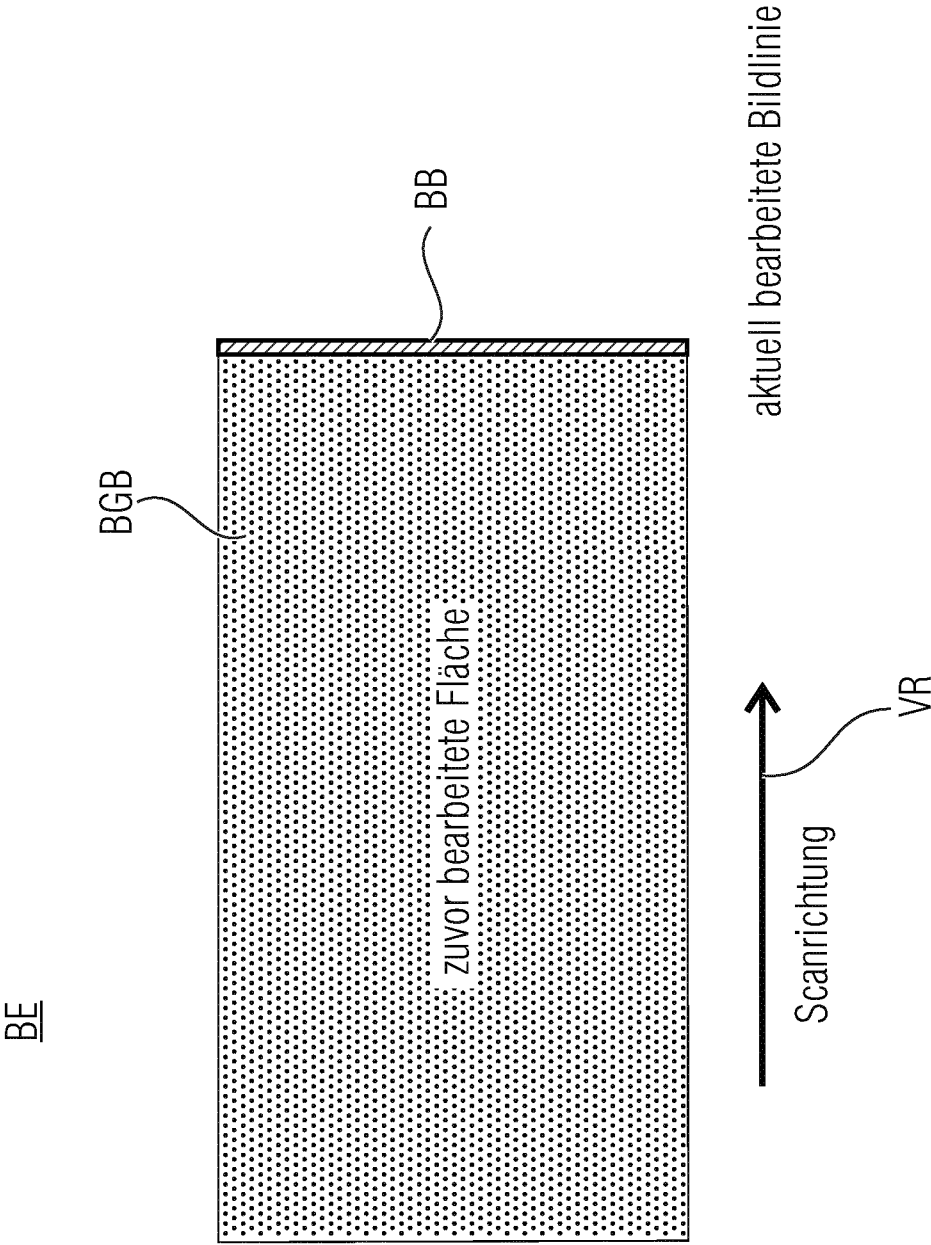
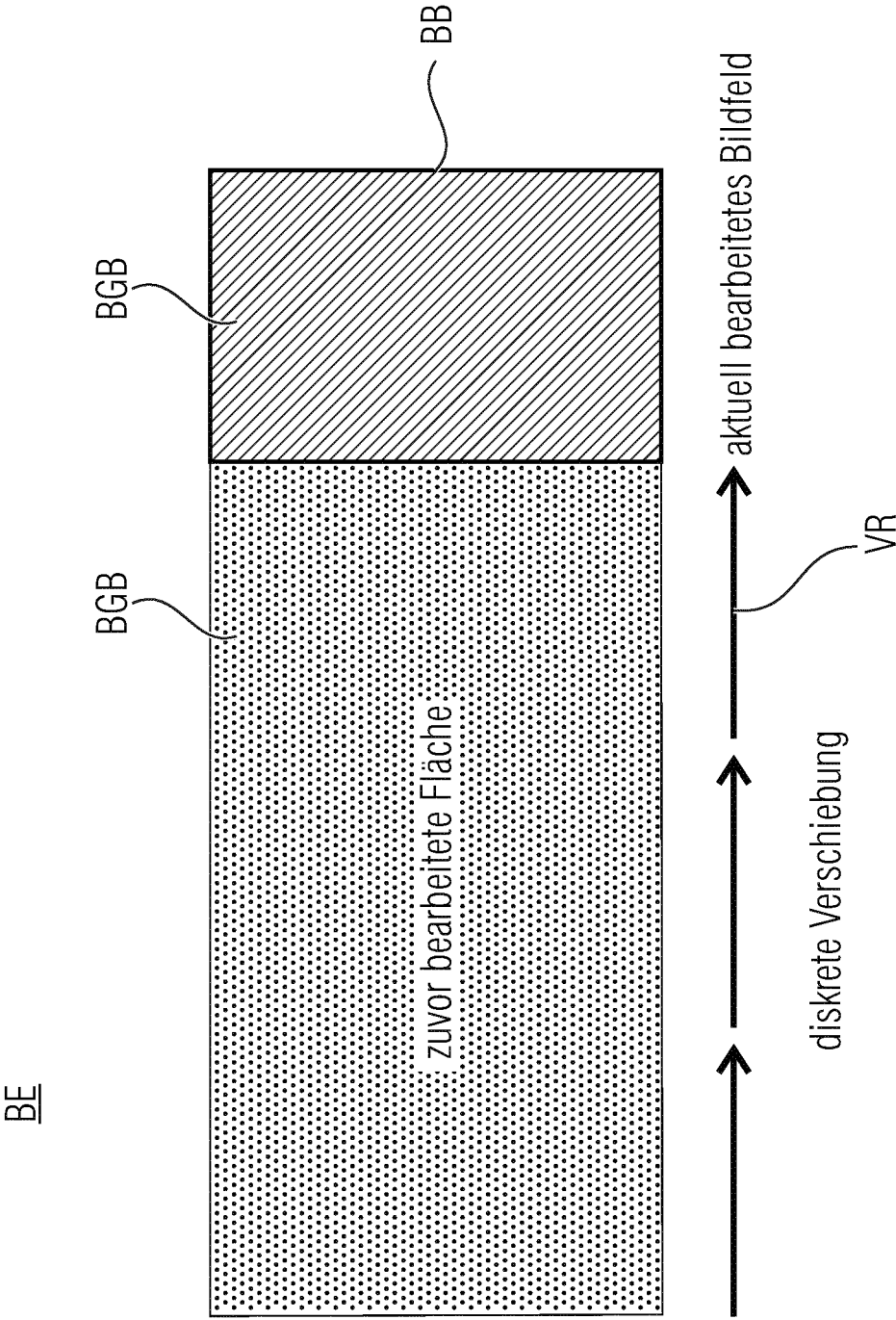


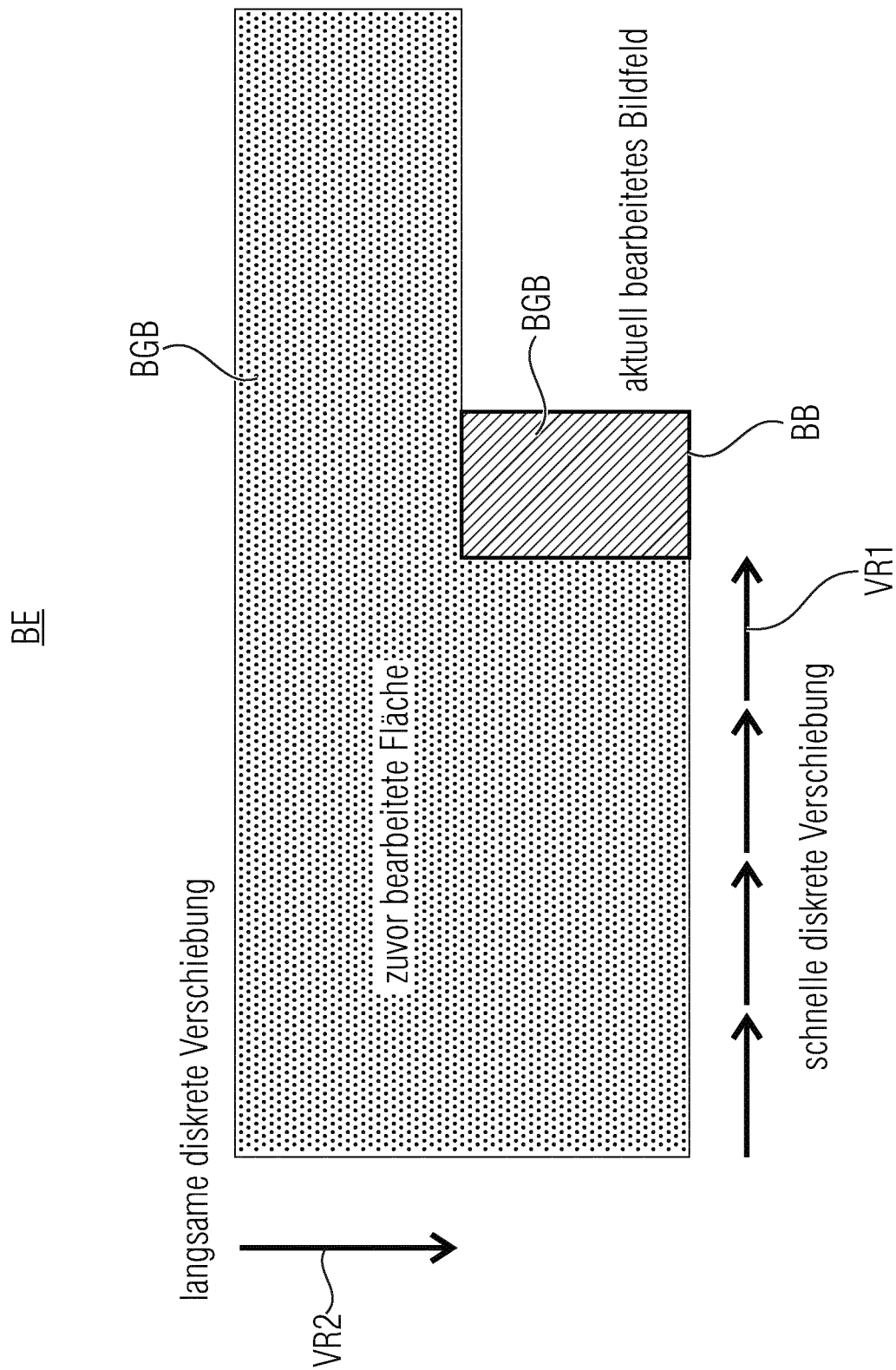
Figure 9



Figur 10



Figur 11



Figur 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/056658

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G02B27/09 B23K26/40 G03H1/02 G03F7/20
ADD.

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)

G02B B23K G03H G03F

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/053143 A1 (SANDSTROM TORBJORN [SE]) 18 March 2004 (2004-03-18) paragraph [0027] - paragraph [0044]; figures 1-3 -----	1-7,9-13
X	DE 10 2006 004301 A1 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]) 2 August 2007 (2007-08-02) the whole document -----	1-8,13
X	US 2015/331330 A1 (MARKLE DAVID A [US] ET AL) 19 November 2015 (2015-11-19) abstract; figures 1-6 paragraph [0147] - paragraph [0185] -----	1-4,7, 9-13
X	WO 2011/107601 A1 (MICRONIC MYDATA AB [SE]; SANDSTROM TORBJORN [SE]) 9 September 2011 (2011-09-09) abstract; figures 2,5,6 paragraph [0022] - paragraph [0036] -----	1-4,9-13



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

6 June 2017

Date of mailing of the international search report

14/06/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Windecker, Robert

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/056658

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004053143 A1	18-03-2004	AU 2003265190 A1	23-04-2004
		EP 1546788 A1	29-06-2005
		JP 4376228 B2	02-12-2009
		JP 2006501687 A	12-01-2006
		KR 20050070018 A	05-07-2005
		US 2004053143 A1	18-03-2004
		US 2006077506 A1	13-04-2006
		WO 2004031831 A1	15-04-2004

DE 102006004301 A1	02-08-2007	CN 101371594 A	18-02-2009
		DE 102006004301 A1	02-08-2007
		JP 5015959 B2	05-09-2012
		JP 2009524096 A	25-06-2009
		KR 20080085230 A	23-09-2008
		TW 200739289 A	16-10-2007
		US 2009086296 A1	02-04-2009
		WO 2007099458 A2	07-09-2007

US 2015331330 A1	19-11-2015	NONE	

WO 2011107601 A1	09-09-2011	CN 102985879 A	20-03-2013
		EP 2542941 A1	09-01-2013
		WO 2011107601 A1	09-09-2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G02B27/09 B23K26/40 G03H1/02 G03F7/20
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G02B B23K G03H G03F

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

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/053143 A1 (SANDSTROM TORBJORN [SE]) 18. März 2004 (2004-03-18) Absatz [0027] - Absatz [0044]; Abbildungen 1-3 -----	1-7,9-13
X	DE 10 2006 004301 A1 (SEEREAL TECHNOLOGIES SA [LU]) 2. August 2007 (2007-08-02) das ganze Dokument -----	1-8,13
X	US 2015/331330 A1 (MARKLE DAVID A [US] ET AL) 19. November 2015 (2015-11-19) Zusammenfassung; Abbildungen 1-6 Absatz [0147] - Absatz [0185] -----	1-4,7, 9-13
X	WO 2011/107601 A1 (MICRONIC MYDATA AB [SE]; SANDSTROM TORBJORN [SE]) 9. September 2011 (2011-09-09) Zusammenfassung; Abbildungen 2,5,6 Absatz [0022] - Absatz [0036] -----	1-4,9-13



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

6. Juni 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/06/2017

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

Windecker, Robert

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/056658

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004053143 A1	18-03-2004	AU 2003265190 A1	23-04-2004
		EP 1546788 A1	29-06-2005
		JP 4376228 B2	02-12-2009
		JP 2006501687 A	12-01-2006
		KR 20050070018 A	05-07-2005
		US 2004053143 A1	18-03-2004
		US 2006077506 A1	13-04-2006
		WO 2004031831 A1	15-04-2004

DE 102006004301 A1	02-08-2007	CN 101371594 A	18-02-2009
		DE 102006004301 A1	02-08-2007
		JP 5015959 B2	05-09-2012
		JP 2009524096 A	25-06-2009
		KR 20080085230 A	23-09-2008
		TW 200739289 A	16-10-2007
		US 2009086296 A1	02-04-2009
		WO 2007099458 A2	07-09-2007

US 2015331330 A1	19-11-2015	KEINE	

WO 2011107601 A1	09-09-2011	CN 102985879 A	20-03-2013
		EP 2542941 A1	09-01-2013
		WO 2011107601 A1	09-09-2011
