

(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
04. April 2019 (04.04.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/063733 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 3/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/076355

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. September 2018 (27.09.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 217 345.9
28. September 2017 (28.09.2017) DE

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

(72) **Erfinder:** **LI, Chen**; Liselotte-Hermann-Str. 19, 07747 Jena (DE). **SCHREIBER, Peter**; Burgweg 2, 07749 Jena (DE). **MICHAELIS, Dirk**; Drackendorfer Weg 12c, 07747 Jena (DE). **WÄCHTER, Christoph**; Herderstraße 5, 07743 Jena (DE). **FISCHER, Stephanie**; Max-Steenbeck-Str. 6, 07745 Jena (DE).

(74) **Anwalt:** **SCHENK, Markus** et al.; Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler, Schenk & Partner mbB, Radlkoferstr. 2, 81373 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, 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, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,

(54) **Title:** OPTICAL CONDENSER WITH DIFFUSER EFFECT

(54) **Bezeichnung:** OPTISCHER KONDENSER MIT DIFFUSER-WIRKUNG

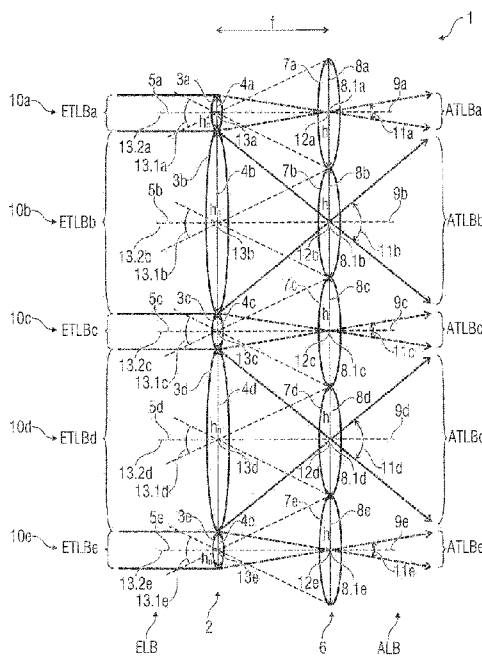


Figure 4

(57) **Abstract:** Optical beam shaper for generating an emergent light beam from an incident light beam, wherein the optical beam shaper comprises a condenser lens array (2) having a plurality of condenser lenses, and a projection lens array (6) arranged parallel to the condenser lens array and having a plurality of projection lenses. Exactly one of the projection lenses is assigned to each of the condenser lenses, such that a plurality of optical channels are formed and such that each of the plurality of optical channels generates, from an incident partial light beam (ETLa-e), a partial light beam (ATLba-e) which is emergent in an angle of emergence range with a homogeneous intensity distribution relative to an angle of emergence, wherein the permissible angle of incidence ranges of the optical channels in a plane extending parallel to the optical axes of the condenser lenses are identical in terms of absolute value and wherein the angle of emergence ranges of at least two of the optical channels are different, such that an intensity distribution relative to the angle of emergence in a far field of the emergent light beam has a plurality of regions with a homogeneous intensity.

(57) **Zusammenfassung:** Optischer Strahlformer zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel, wobei der optische Strahlformer ein Kondensorlinsenarray (2), welches mehrere Kondensorlinsen aufweist und ein parallel zum Kondensorlinsenarray angeordnetes Projektionslinsenarray (6), welches mehrere Projektionslinsen aufweist umfasst. Jeder der Kondensorlinsen ist genau eine der Projektionslinsen zugeordnet ist, so dass mehrere optische Kanäle gebildet werden und so dass jeder der mehreren optischen Kanäle aus einem einfallenden Teillichtstrahlbündel (ETLa-e) ein in einem Ausfallwinkelbereich mit einer auf einen Ausfallwinkel bezogenen homogenen Intensitätsverteilung ausfallendes Teillichtstrahlbündel (ATLba-e) erzeugt, wobei die zulässigen Einfallswinkelbereiche der optischen Kanäle in einer



WO 2019/063733 A1

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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

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

parallel zu den optischen Achsen der Kondensorlinsen verlaufenden Ebene betragsmäßig gleich groß sind und wobei die Ausfallwinkelbereiche von wenigstens zwei der optischen Kanäle unterschiedlich sind, so dass eine auf den Ausfallwinkel bezogene Intensitätsverteilung in einem Fernfeld des ausfallenden Lichtstrahlbündels mehrere Bereiche mit einer homogenen Intensität aufweist.

OPTISCHER KONDENSER MIT DIFFUSER-WIRKUNG

Beschreibung

5 Zur Erzeugung einer kontinuierlichen Intensitätsverteilung eines Lichtbündels werden Streuscheiben (Diffusoren) genutzt. Ausgehend von einer kollimierten oder schwach divergenten Einstrahlung erzeugen diese Elemente eine definierte Winkelverteilung des Ausgangsbündels (Streukeule) bei geringstem Bauraumbedarf. Die Funktionsweise basiert auf Lichtstreuung (Volumen- oder Oberflächenstreuung), Lichtbrechung („engineered“ diffusers) und/oder
10 Lichtbeugung (holographische Diffusoren) an einseitig strukturierten Mikrooptiken.

Streuscheiben konservieren die Bündelfläche, vergrößern aber die Bündeldivergenz um den Öffnungswinkel der Streukeule, was zu einer Verringerung der Leuchtdichte am Ausgang verglichen mit der Einstrahlung führt. Dieses Verhalten ist bei Anwendungen, die hohe Leuchtdichten erfordern, nachteilig. Derartige Anwendungen sind zum Beispiel die Beleuchtung von Mikroim-
15 gern oder die Realisierung von Hochleistungs-Spotlights.

20 Zur Beschreibung diesbezüglich relevanter geometrischer Aspekte von Beleuchtungssystemen wird die Etendue

$$\hat{E} = \pi n^2 A \sin^2 \theta \quad (1)$$

25 mit der Brechzahl des Mediums n , der Fläche des Bündels A und dem halben Öffnungswinkel θ , eingeführt. Ideal abbildende Optiken konservieren die Etendue, wohingegen fehlerhaft abbildende und streuende Elemente die Etendue vergrößern. Eine Vergrößerung der Etendue, wie sie typisch für Diffusoren ist, bewirkt eine Verringerung der Leuchtdichte am Ausgang des
30 Systems, was insbesondere für die oben genannten Anwendungen nachteiliges. Die Bedeutung der Etendue ist in Referenz [1] näher beschrieben.

Ein weiteres Problem von Streuscheiben ist die starke Abhängigkeit des Ausgangsbündels von der Einstrahlrichtung, die die Orientierung der Streukeule am Ausgang bestimmt. Wenn also bei Streuscheiben die Einstrahlrichtung nicht exakt definiert ist, so ergibt sich auch keine reproduzierbare ausgangsseitige Intensitätsverteilung.

Aus der Referenz [2] bekannte Wabenkondensoren bestehen aus zwei identischen, zueinander im Abstand einer Brennweite angeordneten Linsenarrays. Sowohl die Linsen des eingangsseitigen Linsenarrays als auch die Linsen des eingangsseitigen Linsenarrays sind dabei gleichartig ausgebildet. Jeweils eine eingangsseitige Linse und eine ausgangsseitige Linse bilden dabei einen optischen Kanal. Derartige Wabenkondensoren sind von der Einstrahlungsrichtung unabhängig, sofern der Einstrahlungswinkel kleiner oder gleich dem sogenannten Akzeptanzwinkel ist, und zusätzlich etenduerhaltend, falls der Einstrahlungswinkel gleich dem sogenannten Akzeptanzwinkel ist. Derartige Wabenkondensoren erzeugen ein ausfallendes Lichtstrahlbündel, dessen Intensitätsverteilung innerhalb eines Ausfallwinkelbereichs homogen und außerhalb des Ausfallwinkelbereichs Null ist. Eine derartige Intensitätsverteilung wird auch als top-hat-förmige Intensitätsverteilung bezeichnet. Komplexere Intensitätsverteilungen sind jedoch mit derartigen Wabenkondensoren nicht möglich.

Aus der Referenz [3] ist ein modifizierter Wabenkondensator bekannt, bei dem die eingangsseitige Linse und die ausgangsseitige Linse bei jedem der optischen Kanäle gleichartig ausgeführt sind. Allerdings unterscheiden sich die Linsen unterschiedlicher optischer Kanäle hinsichtlich ihrer Größe. Durch eine besondere Anordnung der optischen Kanäle mit den unterschiedlichen Linsen ist eine annähernd glockenförmige Intensitätsverteilung des ausfallenden Lichtstrahlbündel ist möglich. Allerdings ist der Akzeptanzwinkel bei einem derartigen Wabenkondensator deutlich kleiner als beim klassischen Wabenkondensator.

Um den Akzeptanzwinkel zu vergrößern, schlägt die Referenz [4] einen weiter modifizierten Wabenkondensator vor, der ein speziell strukturiertes Blendenarray aufweist. Das Blendenarray führt jedoch zu einer deutlich geringeren mittleren Leuchtdichte am Ausgang des Wabenkondensators.

5

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen verbesserten optischen Strahlformer bereitzustellen, der insbesondere die zuvor genannten Nachteile beseitigt.

10 Die Aufgabe wird gelöst durch einen optischen Strahlformer zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel, wobei der optische Strahlformer umfasst:

ein Kondensatorlinsenarray zum Empfangen des einfallenden Lichtstrahlbündels, welches mehrere Kondensatorlinsen aufweist, wobei die Kondensatorlinsen jeweils eine Apertur und eine optische Achse aufweisen, wobei die optischen Achsen der Kondensatorlinsen parallel zueinander verlaufen; und

20 ein parallel zum Kondensatorlinsenarray angeordnetes Projektionslinsenarray zum Ausstrahlen des ausfallenden Lichtstrahlbündels, welches mehrere Projektionslinsen aufweist, wobei die Projektionslinsen jeweils eine ein Zentrum aufweisende Apertur und jeweils eine optische Achse aufweisen;

wobei jeder der Kondensatorlinsen genau eine der Projektionslinsen zugeordnet ist, so dass jede der Kondensatorlinsen und die jeweils zugeordnete Projektionslinse einen optischen Kanal von mehreren optischen Kanälen bilden und so dass jeder der mehreren optischen Kanäle aus einem innerhalb eines zulässigen Einfallswinkelbereichs des jeweiligen optischen Kanals einfallenden Teillichtstrahlbündel des einfallenden Lichtstrahlbündels ein in einem

30 Ausfallwinkelbereich mit einer auf einen Ausfallwinkel bezogenen homogenen Teilintensitätsverteilung ausfallendes Teillichtstrahlbündel des ausfallenden Lichtstrahlbündels erzeugt, wobei die zulässigen Einfallswinkelbereiche

der optischen Kanäle in einer parallel zu den optischen Achsen der Kondensorenlinse verlaufenden Ebene betragsmäßig gleich groß sind; und

5 wobei die Ausfallwinkelbereiche von wenigstens zwei der optischen Kanäle unterschiedlich sind, so dass eine auf den Ausfallwinkel bezogene Intensitätsverteilung in einem Fernfeld des ausfallenden Lichtstrahlbündels mehrere Bereiche mit einer homogenen Intensität aufweist.

Allgemein zeichnet sich ein Linsenarray dadurch aus, dass die optischen
10 Achsen der einzelnen Linsen des Linsenarrays parallel verlaufen und dass die einzelnen Linsen des Linsenarrays längs einer Ebene angeordnet sind, welche senkrecht zu den optischen Achsen verlaufen. Zwei Linsenarrays sind dann parallel zueinander angeordnet, wenn die optischen Achsen der Linsen des einen Linsenarrays parallel zu den optischen Achsen der Linsen
15 des anderen Linsenarrays verlaufen. Sowohl bei dem Kondensorenlinsearray als auch bei dem Projektionslinsearray kann es sich jeweils um ein Mikro-
linsearray handeln.

Allgemein wird unter der Apertur einer Linse die optisch wirksame Fläche der
20 Linse in einer Ebene senkrecht zu ihrer optischen Achse verstanden. Unter dem Zentrum einer Apertur wird dabei ein Bereich um den Schwerpunkt der optisch wirksamen Fläche der jeweiligen Linse verstanden.

Die optische Achse der Linse ist ein zumindest gedachter Durchtrittsweg für
25 Lichtstrahlen, der die Lichtstrahlen nicht bricht. Bei zweidimensional wirkenden Linsen weist die optische Achse einen punktförmigen Querschnitt auf, so dass die optische Achse die Form einer Geraden annimmt. Bei eindimensional wirkenden Linsen weist optische Achse einen geradenförmigen Querschnitt auf, so dass die optische Achse die Form einer Ebene annimmt. Die
30 optische Achse kann im Zentrum der Apertur, an beliebiger Stelle der Apertur oder sogar außerhalb der Apertur liegen.

Die einfallenden Teillichtstrahlbündel sind dabei jeweils ein Teil des einfallenden Lichtstrahlbündels, welcher durch eine Kondensorlinse des Kondensorlinsenarrays hindurchtritt. Die ausfallenden Teillichtstrahlbündel sind dabei jeweils ein Teil des ausfallenden Lichtstrahlbündels, welcher durch eine Projektionslinse des Projektionslinsenarrays ausfällt.

Der zulässige Einfallswinkelbereich eines optischen Kanals ist jener Winkelbereich, in dem auf die Kondensorlinse des optischen Kanals einfallendes Licht so gebrochen wird, dass das Licht auf die Projektionslinse des jeweiligen optischen Kanals trifft.

Die Hauptstrahlen, auch Schwerstrahlen genannt, der Einfallswinkelbereiche unterschiedlicher optischer Kanäle können dabei parallel zueinander ausgerichtet sein. Dies ist von Vorteil, wenn vorgesehen ist, dass die auf die unterschiedlichen optischen Kanäle einfallenden Teillichtstrahlbündel weitgehend parallel zueinander sind. Insbesondere können die Hauptstrahlen der Einfallswinkelbereiche parallel zu den optischen Achsen der Kondensorlinsen der optischen Kanäle ausgerichtet sein. Dies ist von Vorteil, wenn vorgesehen ist, dass die auf die unterschiedlichen optischen Kanäle einfallenden Teillichtstrahlbündel weitgehend parallel zu den optischen Achsen der Kondensorlinsen verlaufen.

Es sind jedoch auch Ausführungsbeispiele denkbar, bei denen die Hauptstrahlen der Einfallswinkelbereiche unterschiedlicher optischer Kanäle unter einem Winkel zueinander verlaufen. Dieses von Vorteil, wenn vorgesehen ist, dass die auf die unterschiedlichen optischen Kanäle einfallenden Teillichtstrahlbündel merklich unterschiedliche Einfallswinkel aufweisen.

Allgemein weist eine Intensitätsverteilung dann mehrere Bereiche mit homogener Intensität auf, wenn sie mehrere durch Flanken begrenzte Bereiche umfasst, welche eine konstante aber von Null verschiedene Intensität besitzen. Flanken sind dabei steile Übergänge zu einem anderen Intensitätswert.

Das Fernfeld des ausfallenden Lichtstrahlbündels stellt sich in einem längs der optischen Achsen der Projektionslinsen gemessenen Abstand von dem Projektionslinsenarray ein, der so groß ist, dass der Abstand der Projektionslinsen zum Mittelpunkt des Arrays vernachlässigbar ist. Mit anderen Worten,
5 linsen zum Mittelpunkt des Arrays vernachlässigbar ist. Mit anderen Worten, das Fernfeld liegt dort vor, wo der optische Strahlformer wie eine nahezu punktförmige Lichtquelle wirkt.

Sowohl bei den Kondensorlinsen als auch bei den Projektionslinsen kann es
10 sich um eindimensional wirkende Linsen oder um zweidimensional wirkende Linsen handeln. Bei den eindimensional wirkenden Linsen kann es sich beispielsweise um Zylinderlinsen handeln. Dabei kann die Form der Zylinderlinsen leicht von einer idealen Zylinderform abweichen, um Abbildungsfehler zu vermeiden. Eindimensionale Linsen erlauben ohne weitere Maßnahmen lediglich die Erzeugung einer eindimensionalen Intensitätsverteilung.
15

Bei den zweidimensional wirkenden Linsen kann es sich beispielsweise um sphärische Linsen handeln. Die Linsen können auch als asphärische Linsen, deren Oberflächen zur Vermeidung von Abbildungsfehlern von einer idealen
20 Kugeloberfläche abweichen, ausgebildet werden.

Sowohl die Kondensorlinsen als auch die Projektionslinsen können innerhalb des jeweiligen Arrays individuelle Krümmung aufweisen, um Abbildungsfehler zu vermeiden.
25

Bei dem erfindungsgemäßen optischen Strahlformer erzeugt jeder der optischen Kanäle ein ausfallendes Teillichtstrahlbündel, welches eine top-hatförmige Teilintensitätsverteilung aufweist, also eine Teilintensitätsverteilung, bei der die Teilintensitätsverteilung innerhalb des Ausfallwinkelbereichs einen
30 konstanten Wert aufweist, und bei der die Teilintensitätsverteilung außerhalb des Ausfallwinkelbereichs den Wert Null annimmt. Die Intensitätsverteilung

des optischen Strahlformers ergibt sich dann aus der Überlagerung der Teilintensitätsverteilungen der einzelnen optischen Kanäle.

5 Dabei sind die optischen Kanäle so gestaltet, dass wenigstens zwei der optischen Kanäle unterschiedliche Ausfallwinkelbereiche aufweisen, so dass sich unterschiedliche Teilintensitätsverteilungen ergeben. Die Intensitätsverteilung des optischen Strahlformers ergibt sich dann aus der Überlagerung unterschiedlicher Teilintensitätsverteilungen. Die Intensitätsverteilung des Strahlformers weist dann im Fernfeld des ausfallenden Lichtstrahlbündels
10 mehrere Bereiche mit einer jeweils homogenen Intensität auf. Durch entsprechende Ausbildungen der optischen Kanäle ist es so, anders als beim klassischen Wabenkondensator der Referenz [2] möglich, nahezu beliebige Intensitätsverteilungen zu erzeugen.

15 Da bei dem erfindungsgemäßen optischen Strahlformer die zulässigen Einfallswinkelbereiche der optischen Kanäle in einer parallel zu den optischen Achsen der Kondensatorlinsen verlaufenden Ebene betragsmäßig gleich groß sind, können in der Praxis auftretende Winkelabweichungen eines real einfallenden Lichtstrahlbündels im Vergleich zu einem theoretisch vorgesehenen
20 Lichtstrahlbündel von sämtlichen optischen Kanälen gleich gut kompensiert werden. Dies ist insbesondere ein Vorteil gegenüber dem modifizierten Wabenkondensator der Referenz [3], bei dem die optischen Kanäle unterschiedliche zulässige Einfallswinkelbereiche aufweisen, welche jeweils von den unterschiedlichen numerischen Aperturen der der Projektionslinsen der optischen Kanäle abhängen.
25

Da der erfindungsgemäßen optischen Strahlformer kein Blendenarray zur Aufrechterhaltung des Akzeptanzwinkels des klassischen Wabenkondensator benötigt, ermöglicht der optische Strahlformer eine höhere Transmission als
30 der modifizierte Wabenkondensator der Referenz [4].

Der erfindungsgemäße optische Strahlformer ist auch Streuscheiben überlegen, da er einerseits etendue-erhaltend und andererseits unabhängiger von der Einfallrichtung des einfallenden Lichtstrahlbündels ist.

5 Der erfindungsgemäße optische Strahlformer ermöglicht die Erzeugung beliebiger symmetrischer und asymmetrischer Fernfeldverteilungen mit einem einzigen Element, wobei die Vorteile des klassischen Wabenkondensors erhalten bleiben, nämlich die hohe Transmission und die Unabhängigkeit vom Einstrahlwinkel, solange der Akzeptanzwinkel, welcher der numerischen
10 Apertur des Projektionslinsenarrays entspricht, nicht überschritten wird. Im Unterschied zu Diffusoren bleibt die Etendue bezogen auf den Einzelkanal erhalten, was die Realisierung leuchtdichtekritischer Anwendungen ermöglicht.

15 Der erfindungsgemäße optische Strahlformer kann vorteilhaft bei etendue- und/oder leuchtdichtenkritischen Beleuchtungssystemen mit nicht-homogener Lichtstärkeverteilung (Intensität) eingesetzt werden. Anwendungen für derartige Strahlformer gibt es bspw. in der Allgemeinbeleuchtung für Punktstrahler mit spezieller Winkelverteilung der Abstrahlung oder im Auto-
20 mobilbereich z.B. für Frontscheinwerfer oder Heck- und Blinkleuchten.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind die Aperturen der Projektionslinsen gleichartig. Zwei Linsen weisen dann eine gleichartige Apertur auf, wenn die Aperturen der beiden Linsen in Form und Flächeninhalt
25 übereinstimmen. Wenn die Aperturen der Projektionslinsen eines derartigen optischen Strahlformers gleichartig sind, ergeben sich im Vergleich zum klassischen Wabenkondensator der Referenz [2] keinerlei Einschränkungen der Unabhängigkeit vom Einfallwinkel des einfallenden Lichtstrahlbündels. Im Vergleich zum modifizierten Wabenkondensator der Referenz [3] ist der Akzeptanzwinkel des optischen Strahlformers größer, da beim modifizierten Wa-
30 benkondensator der Akzeptanzwinkel von der numerischen Apertur der kleinsten Projektionslinse abhängt.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung verlaufen Hauptstrahlen der zulässigen Einfallswinkelbereiche zumindest bei einigen der optischen Kanäle parallel zueinander. Diese Merkmale erlauben den Einsatz des erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in Fällen, bei denen zumindest einige der einfallenden Teillichtstrahlbündel des einfallenden Lichtstrahlbündels im Wesentlichen parallel zueinander einfallen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung verlaufen Hauptstrahlen der zulässigen Einfallswinkelbereiche zumindest bei einigen der optischen Kanäle parallel zu den optischen Achsen der Kondensorlinsen. Diese Merkmale erlauben den Einsatz des erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in Fällen, bei denen zumindest einige der einfallenden Teillichtstrahlbündel des einfallenden Lichtstrahlbündels im Wesentlichen parallel zu den optischen Achsen der Kondensorlinsen einfallen.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung verlaufen Hauptstrahlen der zulässigen Einfallswinkelbereiche zumindest bei einigen der optischen Kanäle schräg zueinander. Diese Merkmale erlauben den Einsatz des erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in Fällen, bei denen zumindest einige der einfallenden Teillichtstrahlbündel des einfallenden Lichtstrahlbündels schräg zueinander einfallen.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung liegt bei jedem der mehreren optischen Kanäle ein Brennpunkt der jeweiligen Kondensorlinse in Richtung der optischen Achse der jeweiligen Kondensorlinse in einem Bereich der Projektionslinsen. Weiterhin liegt bei jedem der mehreren optischen Kanäle ein Brennpunkt der jeweiligen Projektionslinse in Richtung der optischen Achse der jeweiligen Projektionslinse in einem Bereich der Kondensorlinsen. Hierdurch wird erreicht, dass die Teilintensitätsverteilungen der ausfallenden Teillichtstrahlbündel innerhalb des Ausfallwinkelbereichs homo-

gen sind und dass außerhalb des Ausfallwinkelbereichs keine unerwünschten Intensitäten auftreten.

5 Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung überschneiden sich wenigstens zwei der unterschiedlichen Ausfallwinkelbereiche. Auf diese Weise können in den Schnittbereichen besonders hohe Leuchtdichten erreicht werden.

10 Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist bei jedem der optischen Kanäle die optische Achse der jeweiligen Kondensorlinse gleich der optischen Achse der jeweiligen Projektionslinse. Hierdurch wird die Berechnung der für eine bestimmte Intensitätsverteilung benötigten Kondensorlinsen und Projektionslinsen vereinfacht. Zudem ergeben sich für die Kondensorenlinsen und die Projektionslinsen einfache geometrische Formen, die
15 leichter herstellbar sind.

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung ist die Apertur der Kondensorlinse eines der optischen Kanäle größer als die Aperturen der Projektionslinsen und wobei die Apertur der Kondensorlinse eines anderen der
20 optischen Kanäle kleiner ist als die Aperturen der Projektionslinsen. Die Verwendung unterschiedlich großer Kondensorlinsen ermöglicht in einfacher Weise unterschiedliche Ausfallwinkelbereiche zu erzeugen. Eine regelmäßige Anordnung kleinerer Kondensorlinsen und größerer Kondensorlinsen ermöglicht die Erzeugung nahezu beliebiger aber symmetrischer Intensitätsverteilungen im Fernfeld.
25

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung umfassen die Kondensorenlinsen des Kondensorenlinsenarrays rechteckige und quadratische Kondensorenlinsen, wobei die Projektionslinsen des Projektionslinsenarrays quadratische oder rechteckige Projektionslinsen umfassen. Auf diese Weise können nicht nutzbare Flächen zwischen den Kondensorenlinsen minimiert wer-
30

den, auch wenn Kondensorlinsen unterschiedlicher Größe verwendet werden.

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung weist die Kondensorlinse mit der kleineren Apertur in Richtung ihrer optischen Achse eine geringere Erstreckung auf als die Kondensorlinse mit der größeren Apertur. Bei der Verwendung gleich dicker Kondensorlinsen, was aus optischen Gründen wünschenswert wäre, entstehen bei den kleineren Linsen längs ihres Randes hohe Flanken parallel zur jeweiligen optischen Achse. Diese können zur Entstehung von Streulicht führen, welche einerseits die erzielbaren Leuchtdichten verringern und andererseits die erwünschte Intensitätsverteilung im Fernfeld unkontrolliert überlagern können. Durch die Verwendung dünnerer kleiner Kondensorlinsen können derartige hohe Flanken und deren negative Effekte vermieden werden.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die optische Achse der Kondensorlinse eines der optischen Kanäle einen Versatz zu einem Zentrum der Apertur der jeweiligen Kondensorlinse auf. Der Versatz wird dabei durch seine Richtung und durch seinen Betrag festgelegt. Durch derartige Versätze ist auch die Erzeugung asymmetrischer Intensitätsverteilungen im Fernfeld möglich. Zur Vermeidung von Abbildungsfehlern können hierbei astigmatische Linsen eingesetzt werden.

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung weist die optische Achse der Kondensorlinse eines anderen der optischen Kanäle keinen Versatz oder einen anderen Versatz zu dem Zentrum der Apertur der jeweiligen Kondensorlinse auf. Derartige Kondensorlinsen werden auch als die zentrierte Kondensorlinsen bezeichnet. Durch den Versatz ist die Erzeugung unterschiedlicher Ausfallwinkelbereiche auch dann möglich, wenn die Aperturen der Kondensorlinsen gleichartig sind. Es ist jedoch auch möglich, Versätze bei den Kondensorlinsen mit unterschiedlich großen Aperturen bei den Kondensorlinsen zu kombinieren.

- Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind die Aperturen der Kondensorlinsen des Kondensorlinsenarrays regulär hexagonal angeordnet und gleichartig mit runder oder hexagonaler Form ausgebildet, wobei die
- 5 Aperturen der Projektionslinsen des Projektionslinsenarrays regulär hexagonal angeordnet und mit runder oder hexagonaler Form ausgebildet sind. Auf diese Weise können nicht nutzbare Zwischenflächen zwischen den Linsen weit gehend vermieden werden.
- 10 Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung weist die optische Achse der Projektionslinse eines der optischen Kanäle einen Versatz zu dem Zentrum der Apertur der jeweiligen Projektionslinse auf. Derartige Projektionslinsen werden auch als dezentrierte Projektionslinsen bezeichnet.
- 15 Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung weist die optische Achse der Projektionslinse eines anderen der optischen Kanäle keinen Versatz oder einen anderen Versatz zu dem Zentrum der Apertur der jeweiligen Projektionslinse auf. Projektionslinsen ohne Versatz werden auch als
- 20 zentrierte Projektionslinsen bezeichnet. Kombinationen von optischen Kanälen mit unterschiedlichen Versätzen sowie Kombinationen von versatzlosen Kanälen mit versatzbehafteten Kanälen ermöglichen die Erzeugung unterschiedlicher Ausfallwinkelbereiche selbst mit gleichartigen Kondensorlinsen, wobei im Fernfeld symmetrische oder asymmetrische Intensitätsverteilungen im Fernfeld möglich sind. Versätze bei den Projektionslinsenarrays können
- 25 mit Versätzen bei den Kondensorlinsen kombiniert werden. Ebenfalls können Versätze bei den Projektionslinsen mit unterschiedlichen Größen der Aperturen bei den Kondensorlinsen kombiniert werden. Insgesamt erhöhen sich so die Freiheitsgrade beim Design des optischen Strahlformers.
- 30 Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung sind das Kondensorlinsenarray an einer ersten Seite eines Substrates und das Projektionslinsenarray an einer zweiten gegenüberliegenden Seite des Substrates ange-

ordnet. Das Substrat kann eine transparente Platte sein, wobei sowohl das Kondensorlinsenarray als auch das Projektionslinsenarrays jeweils mittels eines erhitzungs- und drucklosen Gussverfahrens in einem Formwerkzeug unmittelbar an dem Substrat ausgeformt und mit dem Substrat verbunden
5 wird.

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung fokussiert bei jedem der optischen Kanäle die jeweilige Kondensorlinse das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel auf das Zentrum der Apertur der jeweiligen Projektionslinse, wenn das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel parallel zu der
10 optischen Achse der jeweiligen Kondensorlinse einfällt. Eine derartige Anordnung ist immer dann von Vorteil, wenn das einfallende Lichtstrahlbündel im Wesentlichen parallel zu den optischen Achsen der Kondensorlinsen bzw. der Projektionslinsen einfällt. Hierbei können das Kondensorlinsenarray und
15 das Projektionslinsenarray in Richtung der optischen Achsen gesehen deckungsgleich angeordnet sein.

Nach einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung fokussiert bei jedem der optischen Kanäle die jeweilige Kondensorlinse das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel auf das Zentrum der Apertur der jeweiligen Projektionslinse, wenn das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel unter einem Winkel zu der optischen Achse der jeweiligen Kondensorlinse einfällt. Eine
20 derartige Anordnung ist immer dann von Vorteil, wenn das einfallende Lichtstrahlbündel unter einem Winkel zu den optischen Achsen der Kondensorlinsen bzw. der Projektionslinsen einfällt. Dabei können das Kondensorlinsenarray und das Projektionslinsenarray in Richtung der optischen Achsen
25 gesehen versetzt angeordnet sein. Damit auch bei Einfall unter unterschiedlichen Winkeln für jedes Teillichtstrahlbündel der gleiche zulässige Einfallswinkelbereich erzielt werden kann, kann die Apertur der zugeordneten Projektionslinse zur Berücksichtigung von Projektionseffekten abhängig vom
30 Einfallswinkel vergrößert werden.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine optische Strahlformeranordnung zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel, wobei die Strahlformeranordnung einen ersten erfindungsgemäßen optischen Strahlformer und einen zweiten erfindungsgemäßen optischen Strahlformer aufweist, wobei der erste optische Strahlformer und der zweite optische Strahlformer längs einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind, und wobei sich die Intensitätsverteilung des ersten optischen Strahlformers und die Intensitätsverteilung des zweiten optischen Strahlformers unterscheiden.

10

Wenn der erste optische Strahlformer und der zweite optische Strahlformer längs einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind, bedeutet dies, dass die optischen Achsen der Kondensorlinsen des ersten optischen Strahlformers und die optischen Achsen der Kondensorlinsen des zweiten optischen Strahlformers parallel zueinander sind, was gleichbedeutend damit ist, dass die optischen Achsen der Projektionslinsen des ersten optischen Strahlformers und die optischen Achsen der Projektionslinsen des zweiten optischen Strahlformers parallel zueinander sind, wobei der erste optische Strahlformer und der zweite optische Strahlformer in Richtung der optischen Achsen keinen Versatz aufweisen. Weiterhin verläuft die Ebene senkrecht zu den optischen Achsen des ersten Strahlformers und senkrecht zu den optischen Achsen des zweiten Strahlformers.

Die Verwendung mehrerer nebeneinander angeordneter optischer Strahlformer kann, im Vergleich zur Verwendung eines einzigen Strahlformers, der dieselben optischen Eigenschaften aufweist, fertigungstechnische Vorteile aufweisen.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine optische Strahlformeranordnung zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel, wobei die Strahlformeranordnung einen ersten erfindungsgemäßen optischen Strahlformer und einen zweiten erfindungsgemäßen optischen Strahlformer aufweist, wobei der erste optische Strahlformer und der zweite optische Strahlformer längs einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind, und wobei sich die Intensitätsverteilung des ersten optischen Strahlformers und die Intensitätsverteilung des zweiten optischen Strahlformers unterscheiden.

30

5 dungsgemäßen optischen Strahlformer aufweist, wobei der erste optische Strahlformer und der zweite optische Strahlformer so angeordnet sind, dass zumindest ein Teil des ausfallenden Lichtstrahlbündels des ersten optischen Strahlformers dem zweiten optischen Strahlformer als dessen einfallendes Lichtstrahlbündel zugeführt ist.

Bei einer derartigen Strahlformeranordnung können die optischen Achsen der Kondensorklinsen des ersten optischen Strahlformers und die optischen Achsen der Kondensorklinsen des zweiten optischen Strahlformers parallel
10 zueinander sein, so dass dann auch die optischen Achsen der Projektionslinsen des ersten optischen Strahlformers und die optischen Achsen der Projektionslinsen des zweiten optischen Strahlformers parallel zueinander sind. Möglich ist jedoch auch, dass zwischen den optischen Achsen des ersten optischen Strahlformers und den optischen Achsen des zweiten optischen
15 Strahlformers ein Winkel vorgesehen ist, der jedoch kleiner als der Akzeptanzwinkel des zweiten optischen Strahlformers sein sollte. Dabei weisen der erste optische Strahlformer und der zweite optische Strahlformer in Richtung der optischen Achsen einen Versatz auf.

20 Beispielsweise können sowohl der erste optische Strahlformer als auch der zweite optische Strahlformer zur Erzeugung einer eindimensionalen Intensitätsverteilung ausgebildet sein. Hierzu kann der erste optische Strahlformer ein Kondensorklinsenarray und ein Projektionslinsenarray mit eindimensional wirkenden Linsen aufweisen, welche parallel zueinander ausgerichtet sind.
25 Ebenso kann der zweite optische Strahlformer ein Kondensorklinsenarray und ein Projektionslinsenarray mit eindimensional wirkenden Linsen aufweisen, welche parallel zueinander jedoch senkrecht zu den eindimensional wirkenden Linsen des ersten optischen Strahlformers ausgerichtet sind. Durch die aufeinanderfolgende Anordnung des zweiten optischen Strahlformers und
30 des zweiten optischen Strahlformers ergibt sich dann eine zweidimensionale Intensitätsverteilung. Bei den eindimensional wirkenden Linsen kann es sich beispielsweise um Zylinderlinsen handeln. Dabei kann die Form der Zylinder-

linsen leicht von einer idealen Zylinderform abweichen, um Abbildungsfehler zu vermeiden. Der Vorteil der Anordnung besteht darin, dass eindimensionale Linsen leichter herstellbar sind als zweidimensional wirkende Linsen und das dennoch eine zweidimensionale Intensitätsverteilung erzeugt werden
5 kann.

Die Verwendung mehrerer hintereinander angeordneter optischer Strahlformer kann, im Vergleich zur Verwendung eines einzigen Strahlformers, der dieselben optischen Eigenschaften aufweist, fertigungstechnische Vorteile
10 aufweisen.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein optisches System zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel, wobei das optische System einen erfindungsgemäßen optischen Strahlformer und eine Sammeloptik zum Fokussieren des ausfallenden Lichtstrahlbündels des optischen Strahlformers auf eine Ebene aufweist.
15 Auf diese Weise kann auf der Ebene eine mit der Intensitätsverteilung im Fernfeld des ausfallenden Lichtstrahlbündels des Strahlformers korrespondierende Leuchtdichte erreicht werden.

20

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein optisches System zur Erzeugung eines fokussierten ausfallenden Lichtstrahlbündels aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel, wobei das optische System einen erfindungsgemäßen optischen Strahlformer und eine Zerstreuungsoptik zur Vergrößerung einer Divergenz des ausfallenden Lichtstrahlbündels des optischen Strahlformers aufweist.
25

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein optisches System zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel, wobei das optische System eine erfindungsgemäße optische Strahlformeranordnung und eine Sammeloptik zum Fokussieren des ausfallenden Lichtstrahlbündels der optischen Strahlformeranordnung auf eine
30

Ebene aufweist. Auf diese Weise kann auf der Ebene eine mit der Intensitätsverteilung im Fernfeld des ausfallenden Lichtstrahlbündels der Strahlformeranordnung korrespondierende Leuchtdichte erreicht werden.

- 5 In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein optisches System zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel, wobei das optische System eine erfindungsgemäße optische Strahlformeranordnung und eine Zerstreuungsoptik zur Vergrößerung einer Divergenz des ausfallenden Lichtstrahlbündels der optischen Strahlformeranordnung aufweist.
- 10

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

- 15 **Figur 1** zeigt einen aus dem Stand der Technik bekannten optischen Strahlformer mit mehreren optischen Kanälen;
- Figur 2** zeigt die Ausfallwinkelbereiche und die Teilintensitätsverteilungen der ausfallenden Teillichtstrahlbündel der optischen Kanäle des optischen Strahlformers der Figur 1;
- 20
- Figur 3** zeigt die resultierende Intensitätsverteilung des ausfallenden Lichtstrahlbündels des optischen Strahlformers der Figur 1;
- 25 **Figur 4** zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht;
- Figur 5** zeigt die Ausfallwinkelbereiche und die Teilintensitätsverteilungen der ausfallenden Teillichtstrahlbündel der optischen Kanäle des optischen Strahlformers der Figur 4;
- 30

- Figur 6 zeigt die resultierende Intensitätsverteilung des ausfallenden Lichtstrahlbündels des optischen Strahlformers der Figur 4;
- 5 Figur 7 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht;
- 10 Figur 8 zeigt die Ausfallwinkelbereiche und die Teilintensitätsverteilungen der ausfallenden Teillichtstrahlbündel der optischen Kanäle des optischen Strahlformers der Figur 7;
- 15 Figur 9 zeigt die resultierende Intensitätsverteilung des ausfallenden Lichtstrahlbündels des optischen Strahlformers der Figur 7;
- 20 Figur 10 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht;
- 25 Figur 11 zeigt die Ausfallwinkelbereiche und die Teilintensitätsverteilungen der ausfallenden Teillichtstrahlbündel der optischen Kanäle des optischen Strahlformers der Figur 10;
- 30 Figur 12 zeigt die resultierende Intensitätsverteilung des ausfallenden Lichtstrahlbündels des optischen Strahlformers der Figur 10;
- Figur 13 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht;
- Figur 14 zeigt die Ausfallwinkelbereiche und die Teilintensitätsverteilungen der ausfallenden Teillichtstrahlbündel der optischen Kanäle des optischen Strahlformers der Figur 13;

- Figur 15 zeigt die resultierende Intensitätsverteilung des ausfallenden Lichtstrahlbündels des optischen Strahlformers der Figur 13;
- 5 Figur 16 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht;
- 10 Figur 17 zeigt ein sechstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in einer schematischen räumlichen Schrägansicht;
- Figur 18 zeigt das Kondensorenlinienarray des optischen Strahlformers der Figur 17 in einer schematischen räumlichen Schrägansicht;
- 15 Figur 19 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Strahlformeranordnung in einer schematischen Seitenansicht;
- 20 Figur 20 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Strahlformeranordnung in einer schematischen Seitenansicht; und
- 25 Figur 21 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Systems in einer schematischen Seitenansicht.

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

30

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 einen aus dem Stand der Technik bekannten optischen Strahlformer 1. Der optische Strahlformer 1 zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel ELB umfasst ein Kondensorenlinienarray 2 zum Empfangen des einfallenden Lichtstrahlbündels ELB, welches mehrere Kondensorenlinsen 3 aufweist, wobei die Kondensorenlinsen 3 jeweils eine Apertur 4 und eine optische Achse 5 aufweisen. Weiterhin umfasst der optische Strahlformer 1 ein parallel zum Kondensorenlinienarray 2 angeordnetes Projektionslinienarray 6 zum Ausstrahlen des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB, welches mehrere Projektionslinsen 7 aufweist, welche jeweils eine ein Zentrum 8.1 aufweisende Apertur 8 und jeweils eine optische Achse 9 aufweisen. Dabei ist jeder der Kondensorenlinsen 3 genau eine der Projektionslinsen 7 zugeordnet, so dass jede der Kondensorenlinsen 3 und die jeweils zugeordnete Projektionslinse 7 einen optischen Kanal 10 von mehreren optischen Kanälen 10 bilden und so dass jeder der mehreren optischen Kanäle 10 aus einem einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLB des einfallenden Lichtstrahlbündels ELB ein in einem Ausfallwinkelbereich 11 mit einer homogenen Teilintensitätsverteilung TIV ausfallendes Teillichtstrahlbündel ATLB des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB erzeugt.

Sämtliche der Kondensorenlinsen 3 sind dabei gleichartig ausgebildet. Ebenso sind sämtliche der Projektionslinsen 7 gleichartig ausgebildet. Weiterhin sind die Kondensorenlinsen 3 und die Projektionslinsen 7 gleichartig aufgebaut. Insbesondere entsprechen sich die Kondensorenlinsen 3 und Projektionslinsen 7 hinsichtlich ihrer Apertur 8 und ihrer Brennweite. Sämtliche der Kondensoren-

linsen 3 und der Projektorlinsen 7 sind so angeordnet, dass ihre jeweilige optische Achse 5 bzw. 9 durch das Zentrum der jeweiligen Apertur 4 bzw. 8 verläuft. Weiterhin gilt für jede Kondensorlinse 3, dass ihr Brennpunkt im Zentrum 8.1 der zugeordneten Projektionslinse 7 liegt. Ebenso gilt für jede
5 Projektionslinse 7, dass ihr Brennpunkt 13 im Zentrum der zugeordneten Kondensorlinsen 3 liegt.

Beim klassischen Wabenkondensor sind die zulässigen Einfallswinkelbereiche 13.1 bei allen optischen Kanäle 10 betragsmäßig gleich groß. Die
10 Hauptstrahlen 13.2 der Einfallswinkelbereiche 13.1 entsprechen dabei den optischen Achsen 5 der Kondensorlinsen 3.

Figur 2 zeigt die Ausfallwinkelbereiche 11 und die Teilintensitätsverteilungen TIV der ausfallenden Teillichtstrahlbündel ATLB der optischen Kanäle 10 des
15 optischen Strahlformers 1 der Figur 1. Für jeden der optischen Kanäle 10 ergibt sich dabei derselbe Ausfallwinkelbereich 11, in dem das jeweilige ausfallende Teillichtstrahlbündel ATLB eine homogene Intensitätsverteilung aufweist. Die Teilintensitätsverteilungen TIV sind dabei auf die Intensität eines der optischen Kanäle 10 normiert.

20
Figur 3 zeigt die resultierende Intensitätsverteilung IV des Fernfelds des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB des optischen Strahlformers der Figur 1. Die Intensitätsverteilung IV ergibt sich dabei aus der Überlagerung der Teilintensitätsverteilung TIV. Die Intensitätsverteilung IV, bei lediglich einen Bereich
25 BHI mit homogener Intensität auf.

Figur 4 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht. Optischer Strahlformer zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels
30 ALB aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel ELB wobei der optische Strahlformer 1 umfasst:

ein Kondensorlinsenarray 2 zum Empfangen des einfallenden Lichtstrahlbündels ELB, welches mehrere Kondensorlinsen 3 aufweist, wobei die Kondensorlinsen 3 jeweils eine Apertur 4 und eine optische Achse 5 aufweisen, wobei die optischen Achsen 5 der Kondensorlinsen 3 parallel zueinander
5 verlaufen; und

ein parallel zum Kondensorlinsenarray 2 angeordnetes Projektionslinsenarray 6 zum Ausstrahlen des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB, welches mehrere Projektionslinsen 7 aufweist, wobei die Projektionslinsen 7 jeweils eine ein Zentrum 8.1 aufweisende Apertur 8 und jeweils eine optische
10 Achse 9 aufweisen;

wobei jeder der Kondensorlinsen 3 genau eine der Projektionslinsen 7 zugeordnet ist, so dass jede der Kondensorlinsen 3 und die jeweils zugeordnete
15 Projektionslinse 7 einen optischen Kanal 10 von mehreren optischen Kanälen 10 bilden und so dass jeder der mehreren optischen Kanäle 10 aus einem innerhalb eines zulässigen Einfallswinkelbereichs 13.1 des jeweiligen optischen Kanals 10 einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLB des einfallenden Lichtstrahlbündels ELB ein in einem Ausfallwinkelbereich 11 mit einer auf
20 einen Ausfallwinkel AFW bezogenen homogenen Teilintensitätsverteilung TIV ausfallendes Teillichtstrahlbündel ATLB des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB erzeugt, wobei die zulässigen Einfallswinkelbereiche 13.1 der optischen Kanäle 10 in einer parallel zu den optischen Achsen 5 der Kondensorlinsen 3 verlaufenden Ebene betragsmäßig gleich groß sind; und

25 wobei die Ausfallwinkelbereiche 11 von wenigstens zwei der optischen Kanäle 10 unterschiedlich sind, so dass eine auf den Ausfallwinkel AFW bezogene Intensitätsverteilung IV in einem Fernfeld des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB mehrere Bereiche BHI mit einer homogenen Intensität aufweist.

30 Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind die Aperturen der Projektionslinsen 7 gleichartig.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung liegt bei jedem der mehreren optische Kanäle 10 ein Brennpunkt 12 der jeweiligen Kondensorlinse 3 in Richtung der optischen Achse 5 der jeweiligen Kondensorlinse 3 in einem Bereich der Projektionslinsen 7 und ein Brennpunkt 13 der jeweiligen Projektionslinse 7 in Richtung der optischen Achse 9 der jeweiligen Projektionslinse 7 in einem Bereich der Kondensorlinsen 3.

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung überschneiden sich wenigstens zwei der unterschiedlichen Ausfallwinkelbereiche 11.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist bei jedem der optischen Kanäle 10 die optische Achse 5 der jeweiligen Kondensorlinse 3 gleich der optischen Achse 9 der jeweiligen Projektionslinse 7.

Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung ist die Apertur 4 der Kondensorlinse 3 eines der optischen Kanäle 10 größer als die Aperturen 8 der Projektionslinsen 7, wobei die Apertur 4 der Kondensorlinse 3 eines anderen der optischen Kanäle 10 kleiner ist als die Aperturen 8 der Projektionslinsen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung fokussiert bei jedem der optischen Kanäle 10 die jeweilige Kondensorlinse 3 das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel ETLB auf das Zentrum 8.1 der Apertur 8 der jeweiligen Projektionslinse 7, wenn das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel ETLB parallel zu der optischen Achse 5 der jeweiligen Kondensorlinse 3 einfällt.

Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung fokussiert bei jedem der optischen Kanäle 10 die jeweilige Kondensorlinse 3 das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel ETLB auf das Zentrum 8.1 der Apertur 8 der jeweiligen Projektionslinse 7, wenn das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbün-

del ETLB unter einem Winkel zu der optischen Achse 5 der jeweiligen Kondensorlinse 3 einfällt.

5 Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung verlaufen Hauptstrahlen 13.2 der zulässigen Einfallswinkelbereiche 13.1 zumindest bei einigen der optischen Kanäle 10 parallel zueinander.

10 Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung verlaufen Hauptstrahlen 13.2 der zulässigen Einfallswinkelbereiche 13.1 zumindest bei einigen der optischen Kanäle 10 parallel zu den optischen Achsen 5 der Kondensorenlinse 3.

In Figur 4 fällt das einfallende Lichtstrahlbündel ELB parallel zu den optischen Achsen 5 und 9 ein, so dass die einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLB auf die Zentren 8.1 der Aperturen 8 der jeweiligen Projektionslinsen 7 fokussiert werden. Falls jedoch das einfallende Lichtstrahlbündel ELB leicht schräg von oben einfallen würde, dann würden die einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLB etwas weiter unten auf die Aperturen 8 der jeweiligen Projektionslinsen 7 fokussiert. Andersherum gilt, falls das einfallende Lichtstrahlbündel ELB leicht schräg von unten einfallen würde, dann würden die einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLB etwas weiter oben auf die Aperturen 8 fokussiert. Für die Ausfallwinkelbereiche 11 der ausfallenden Teil Lichtstrahlbündel ATLB und die sich daraus ergebenden Teilintensitätsverteilungen TIV hätte dies aber keine Auswirkungen, da dies lediglich eine im Fernfeld vernachlässigbare seitliche Verschiebung des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB bedeuten würde. Damit ist die Intensitätsverteilung IV immer dann von einem gegenüber den optischen Achsen 5 und 9 gemessenen Einfallswinkel des einfallenden Lichtstrahlbündels ELB unabhängig, wenn die einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLB noch auf die Projektionslinse 7 des jeweiligen Kanals fokussiert wird. Der Einfallswinkel bei dem diese Bedingung gerade noch erfüllt ist, wird auch Akzeptanzwinkel genannt. Der Akzeptanzwinkel ist dabei gleich der numerischen Apertur NA der Projektionslinsen 7. Die numerische

Apertur NA berechnet sich in paraxialer Näherung zu $NA = h/2f$ aus der Brennweite f und der Höhe h der Projektionslinsen 7. Dies entspricht dem Akzeptanzwinkel des klassischen Wabenkondensors der Figur 1, so dass die Unabhängigkeit des optischen Strahlformers vom Einstrahlwinkel im Vergleich zum klassischen Wabenkondensor nicht eingeschränkt ist.

In Figur 4 sind die Hauptstrahlen 13.2a-e der Einfallswinkelbereiche 13.1a-e der optischen Kanäle 10a-e parallel zueinander ausgerichtet. Weiterhin sind die Hauptstrahlen 13.2a-e der Einfallswinkelbereiche 13.1a-e parallel zu den optischen Achsen 5a-e der Kondensorlinsen 3a-e der optischen Kanäle 10a-e ausgerichtet.

Beim Ausführungsbeispiel der Figur 4 weist das Kondensorlinsenarray 2 Kondensorlinsen 3a-e auf, welche unterschiedliche Aperturen 4a-e aufweisen. So weisen die Kondensorlinsen 3b und 3d eine Apertur 4b und 4d auf, welche deutlich größer sind als die Aperturen 4a, 4c und 4e der Kondensorlinsen 3a, 3c und 3e. Demgegenüber weist das Projektionslinsenarray 6 Projektionslinsen 7a-e auf, welche dieselbe Apertur 8a-e aufweisen. Die optischen Achsen 5a-5e der Kondensorlinsen 3a-e entsprechen dabei den optischen Achsen 9a-e der Projektionslinsen 7a-e. Die optischen Achsen 5a-e der Kondensorlinsen 3a-e verlaufen dabei im Schwerpunkt der Aperturen 4a-e der Kondensorlinsen 3a-e. Die optischen Achsen 9a-e der Projektionslinsen 7a-e verlaufen im Schwerpunkt der Aperturen 8a-e der Projektionslinsen 7a-e.

Wenn h_n die Höhe der Kondensorlinse 3a-e eines der optischen Kanäle 10a-e und NA_n der halbe Ausfallwinkelbereich 11a-e des jeweiligen optischen Kanals 10a-e ist, dann berechnet sich der halbe Ausfallwinkelbereich 11a-e des jeweiligen optischen Kanals 10a-e gemäß

30

$$NA_n = NA \frac{h_n}{h} . \quad (2)$$

Die resultierende Lichtstärkeverteilung IV eines optischen Strahlformers 1 mit N Kondensorlinsen im Fernfeld ergibt sich aus der Summation der Abstrahlung seiner optischen Kanäle 10. Unter Voraussetzung einer homogenen Beleuchtungsstärke (Leuchtdichte) E auf dem Kondensorlinsenarray 2 ergibt sich die resultierende Lichtstärke IV im Fernfeld für ein Kondensorlinsenarray 2 mit rechteckigen, dicht gepackten Kondensorlinsen 3 mit Breite und Höhe w_n und h_n in paraxialer Näherung zu:

$$I(\theta_{x,y}) = E \sum_{n=1}^N \frac{A_n}{\Omega_n} \prod \frac{\theta_x f + \Delta_{x_n} - \delta_{x_n}}{2 f NA_{x_n}} \prod \frac{\theta_y f + \Delta_{y_n} - \delta_{y_n}}{2 f NA_{y_n}}$$

$$\text{mit } \prod(x) = \begin{cases} 0 & \text{für } |x| > 1/2 \\ 1 & \text{für } |x| \leq 1/2 \end{cases}$$

(3)

Hierbei ist A_n die Fläche der n -ten Kondensorlinsen 3 und Ω_n der Raumwinkel der Abstrahlung des n -ten optischen Kanals 10. Einsetzen von A_n und des paraxial genäherten Raumwinkels Ω_n

$$A_n = w_n h_n \quad \text{und} \quad \Omega_n = \frac{w_n h_n}{f^2}$$

vereinfacht die Gleichung zu

$$I(\theta_{x,y}) = E f^2 \sum_{n=1}^N \prod \frac{\theta_x f + \Delta_{x_n} - \delta_{x_n}}{2 f NA_{x_n}} \prod \frac{\theta_y f + \Delta_{y_n} - \delta_{y_n}}{2 f NA_{y_n}} . \quad (4)$$

Das Design eines Strahlformers 1 zur Erzeugung einer beliebigen Lichtverteilung $I(\theta)$ erfordert die Lösung der Gleichung (4) unter folgenden Nebenbedingungen:

(i) Zur Erzielung einer hohen Systemtransmission soll der Füllfaktor des Kondensorlinsenarrays des 2 idealerweise gleich 1 aber zumindest möglichst hoch sein. Für den Fall rechteckiger Kondensorlinsen 3 entspricht das der Forderung

$$\sum w_n = W \quad \text{und} \quad \sum h_n = H \quad (5).$$

5

wobei W und H die Gesamtausdehnung des Kondensorlinsenarrays 2 beschreiben.

(ii) Gleichartig ausgebildete Gruppen benachbarter optischer Kanäle 10, die die geforderte Ausgangslichtstärkeverteilung ohne die Mitwirkung weiterer Kanäle 10 erzeugen können, werden als Cluster bezeichnet. Je höher die Anzahl der Cluster eines Strahlformers ist, desto höher ist eine Homogenisierungswirkung, welche lokale Schwankungen der Beleuchtungsstärke E des einfallenden Lichtbündels ausgleicht. Vorzugsweise werden daher mehr als 10 vorgesehen.

(iii) Diesem Ziel dient auch die Auslegung der Kondensorlinsenarrays 2 mit möglichst kleinen Aperturen 4. Werden Aperturen 4, Brennweiten, Dezentrierungen und damit auch der Abstand von Kondensor- und Projektionsarray gemeinsam linear skaliert, bleibt die resultierende Intensitätsverteilung IV im Fernfeld des optischen Strahlformers 1 konstant. Das gilt somit auch für die Flächenausdehnung eines Clusters, die so gering wie möglich sein soll. Um die von der konkreten Anwendung geforderte Etendue des optischen Strahlformers 1 zu erreichen, werden die resultierenden Cluster so oft als Array repliziert, bis die geforderte Elementfläche und damit die geforderte Elementetendue erreicht wird.

(iv) Bei polychromen Systemen, also bei Mehrfarbsystemen, sind Ausführungsbeispiele mit unterschiedlich großen und/oder einen Versatz aufwei-

senden Kondensorenlinen gegenüber Ausführungsbeispielen mit ablenkenden Projektionslinen zur Erzielung der gewünschten Intensitätsverteilung bevorzugt. Reguläre Projektionslinsenarrays 6 sind kostengünstiger und in besserer Qualität herstellbar und verursachen geringere Farbquerfehler, die sich bei Weißlichtbeleuchtung im Fernfeld als Farbsaum manifestieren.

Das hier beschriebene mathematische Modell $I(\theta_{x,y})$ für eine separable Intensitätsverteilung IV im Fernfeld eines optischen Strahlformers 1 kann auch für optische Strahlformeranordnungen mit mehreren Strahlformern 1 verwendet werden. Es kann grundsätzlich auch auf nicht-separable Verteilungen angewendet werden.

Figur 5 zeigt die Ausfallwinkelbereiche 11a-e und die Teilintensitätsverteilungen TIVBa-e der ausfallenden Teillichtstrahlbündel ATLBa-e der optischen Kanäle 10a-e des optischen Strahlformers 1 der Figur 4. Dabei sind die Teilintensitätsverteilungen TIVBa-e auf eine Intensität von 1 normiert. Erwähnenswert ist, dass die Intensität in jedem der Ausfallwinkelbereiche 11a-e gleich groß ist, da die kleineren Linsen 3a, 3c und 3e zwar weniger Licht aufnehmen, dieses jedoch über einen kleineren Ausfallwinkelbereich 11a, 11c und 11e ausgeben als dies bei den größeren Linsen 3b und 3d mit den Ausfallwinkelbereichen 11b und 11d der Fall ist.

Figur 6 zeigt die resultierende Intensitätsverteilung IV des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB des optischen Strahlformers 1 der Figur 4, welche sich aus der Überlagerung der ausfallenden Teillichtstrahlbündel ATLBa-e der optischen Kanäle 10a-e des optischen Strahlformers 1 ergibt.

In dem Bereich BH1a überlagern sich die Ausfallwinkelbereiche 11b und 11d, so dass sich eine normierte Intensität von 2 ergibt. In dem Bereich BH1b hingegen überlagern sich die Ausfallwinkelbereiche 11a-d, so dass sich eine normierte Intensität von 5 ergibt. Schließlich überlagern sich im Bereich BH1c wiederum die Ausfallwinkelbereiche 11b und 11d, so dass sich erneut eine normierte Intensität von 2 ergibt.

Mit dem Strahlformer 1 der Figur 4 sind beliebige symmetrische Intensitätsverteilungen IV möglich.

- 5 Figur 7 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers 1 in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht.

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung weist die optische Achse 5 der Kondensorlinse 3 eines der optischen Kanäle 10 einen Versatz
10 14 zu einem Zentrum 15 der Apertur 4 der jeweiligen Kondensorlinse 3 auf.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung weist die optische Achse 5 der Kondensorlinse 3 eines anderen der optischen Kanäle 10 keinen Versatz 14 oder einen anderen Versatz 14 zu dem Zentrum 15 der
15 Apertur 4 der jeweiligen Kondensorlinse 3 auf.

Nach einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind die Aperturen 4 der Kondensorlinsen 3 des Kondensorlinsenarrays 2 regulär hexagonal angeordnet und gleichartig mit runder oder hexagonaler Form ausgebildet, wobei
20 die Aperturen 8 der Projektionslinsen 7 des Projektionslinsenarrays 6 regulär hexagonal angeordnet und mit runder oder hexagonaler Form ausgebildet sind.

Auch in Figur 7 sind die Hauptstrahlen 13.2a-e der Einfallswinkelbereiche
25 13.1a-e der optischen Kanäle 10a-e parallel zueinander ausgerichtet. Weiterhin sind die Hauptstrahlen 13.2a-e der Einfallswinkelbereiche 13.1a-e parallel zu den optischen Achsen 5a-e der Kondensorlinsen 3a-e der optischen Kanäle 10a-e ausgerichtet.

30 Wenn δ den Versatz 14 einer Kondensorlinse 3 eines der optischen Kanäle 10 angibt, dann ist das jeweilige ausfallende Teillichtstrahlbündel ATLB gegenüber der optischen Achse 9 der zugeordneten Projektionslinse 7 in pa-

axialer Näherung um einen Winkel δ_r/f geneigt, so dass sich durch den Versatz 14 eine Ablenkung des jeweiligen ausfallenden Teillichtstrahlbündel ATLB ergibt.

- 5 Beim Ausführungsbeispiel der Figur 7 weist das Kondensorlinsenarray 2 Kondensorlinsen 3a, 3b, 3d und 3e auf, welche jeweils einen Versatz 14a, 14b, 14d und 14e aufweisen. Die optischen Achsen 5a, 5b, 5d und 5e der Kondensorlinsen 3a, 3b, 3d und 3e verlaufen daher nicht im Schwerpunkt 15a, 15b, 15d und 15e der Aperturen 4a, 4b, 4d und 4e der Kondensorlinsen 10 3a, 3b, 3d und 3e. Lediglich die optische Achse 5c der versatzlosen Kondensorlinse 3c verläuft durch den Schwerpunkt 15c ihrer Apertur 4c. Demgegenüber weist das Projektionslinsenarray 6 ausschließlich Projektionslinsen 7a-e auf, welche keinen Versatz aufweisen. Alle optischen Achsen 9a-e der Projektionslinsen 7a-e verlaufen daher im Schwerpunkt 8.1a-e der Aperturen 15 8a-e der Projektionslinsen 7a-e.

Das Kondensorlinsenarray 2 weist Kondensorlinsen 3a-e auf, welche deutlich unterschiedliche Aperturen 4a-e aufweisen. Demgegenüber weist das Projektionslinsenarray 6 Projektionslinsen 7a-e auf, welche nahezu dieselbe 20 Apertur 8a-e aufweisen.

Aufgrund des Versatzes 14a ist bei dem optischen Kanal 10a der Abstand des Zentrums der Projektionslinse 7a vom Zentrum 15a der Kondensorlinse 3a größer als der Abstand des Zentrums der Projektionslinse 7c vom Zentrum 15c der Kondensorlinse 3c bei dem optischen Kanal 10c. Damit nun der 25 Akzeptanzwinkel Bereich 13.1a gleich dem Akzeptanzwinkel Bereich 13.1b ist, ist die Apertur 8a der Kondensorlinse 7a geringfügig größer als die Apertur 8c der Kondensorlinse 7c. Dies gilt sinngemäß auch für die anderen optischen Kanäle 10b, 10d und 10e, welche Versätze 14b, 14d und 14e aufweisen. 30

Die numerische Apertur NA berechnet sich hier in paraxialer Näherung zu $NA = h/2f$ aus der Brennweite f und der Höhe h der Projektionslinse 7c, welche die kleinste Apertur 8c aufweist.. Dies entspricht in etwa dem Akzeptanzwinkel des klassischen Wabenkondensors der Figur 1, so dass die Unabhängigkeit des erfindungsgemäßen optischen Strahlformers von der Einstrahlrichtung im Vergleich zum klassischen Wabenkondensator kaum eingeschränkt ist.

Figur 8 zeigt die Ausfallwinkelbereiche 11a-e und die Teilintensitätsverteilungen TIVa-e der ausfallenden Teillichtstrahlbündel ATLBa-e der optischen Kanäle 10a-e des optischen Strahlformers 1 der Figur 7.

Figur 9 zeigt die resultierende Intensitätsverteilung des ausfallenden Lichtstrahlbündels des optischen Strahlformers der Figur 7.

Mit dem Strahlformer 1 der Figur 7 sind beliebige asymmetrische oder symmetrische Intensitätsverteilungen IV möglich.

Figur 10 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers 1 in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht. Das dritte Ausführungsbeispiel beruht auf dem zweiten Ausführungsbeispiel, weist jedoch folgende Besonderheit auf: Zwar weist das Projektionslinsenarrays 6 wie schon zuvor fünf Projektionslinsen 7a-e auf. Hingegen weist das Kondensorenlinsenarray 2 nun mehr lediglich drei Kondensorenlinsen 3a-c auf. Dies ermöglicht es, im Beispiel der Figur 10, für die Kondensorenlinsen 3b eine besonders große Apertur 4b vorzusehen, was einen besonders großen Ausfallwinkelbereich 11b ermöglicht.

Dabei bilden die Kondensorenlinse 3a und die Projektionslinse 7a einen ersten optischen Kanal 10a, die Kondensorenlinse 3b und die Projektionslinse 7b einen zweiten optischen Kanal 10b und die Kondensorenlinse 3c und die Projektionslinse 7c einen dritten optischen Kanal 10a. Die Projektionslinsen 7d und

7e weisen dabei keine optische Funktion auf. Sie könnten daher auch weggelassen werden. Allerdings kann es dennoch sinnvoll sein, die Projektionslinsen 7d und 7e vorzusehen, da dann das Projektionslinsenarrays 6 mit demselben Formwerkzeug hergestellt werden kann, mit dem auch das Projektionslinsenarray 6 des zweiten Ausführungsbeispiels hergestellt werden kann.

In einem nicht gezeigten Ausführungsbeispiel weist das Kondensorlinsenarray 2 mehr Kondensorlinsen 3 auf als das Projektionslinsenarray 6 Projektionslinsen 7 aufweist. In diesem Fall kann eine der Projektionslinsen 7 mehreren der Kondensorlinsen 3 zugeordnet sein, so dass diese Projektionslinsen 7 Bestandteil mehrerer der optischen Kanäle 10 ist.

Im Ausführungsbeispiel der Figur 10 weisen die optischen Kanäle 10a und 10c einen aus Übersichtlichkeitsgründen nicht eingezeichneten Versatz auf. Deshalb sind die Aperturen 8a und 8c der Projektionslinsen 7a und 7c geringfügig größer als die Apertur 8b der Projektionslinse 7b, umso sicherzustellen, dass die zulässigen Einfallswinkelbereiche 13.1a und 13.1c gleich groß sind wie der zulässige Einfallswinkelbereich 13.1b.

Figur 11 zeigt die Ausfallwinkelbereiche 11a-c und die Teilintensitätsverteilungen TIVa-c der ausfallenden Teillichtstrahlbündel ATLBa-c der optischen Kanäle 10a-c des optischen Strahlformers 1 der Figur 10.

Figur 12 zeigt die resultierende Intensitätsverteilung IV des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB des optischen Strahlformers 1 der Figur 10.

Figur 13 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers 1 in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht;

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die optische Achse 9 der Projektionslinse 7 eines der optischen Kanäle 10 einen Versatz 16 zu dem Zentrum 8.1 der Apertur 8 der jeweiligen Projektionslinse 7 auf.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die optische Achse 9 der Projektionslinse 7 eines anderen der optischen Kanäle 10 keinen Versatz 14 oder einen anderen Versatz 14 zu dem Zentrum 8.1 der Apertur 8 der jeweiligen Projektionslinse 7 auf.

Wenn Δ den Versatz 16 einer Projektionslinsen 7 eines der optischen Kanäle 10 angibt, dann ist das jeweilige ausfallende Teillichtstrahlbündel ATLB gegenüber der optischen Achse 9 der Projektionslinse 7 in paraxialer Näherung um einen Winkel Δ_r/f geneigt, so dass sich durch den Versatz 16 eine Ablenkung des jeweiligen ausfallenden Teillichtstrahlbündel ATLB ergibt.

Beim Ausführungsbeispiel der Figur 13 weist das Projektionslinsenarrays 6 Projektionslinsen 7a, 7b, 7d und 7e auf, welche jeweils einen Versatz 16a, 16b, 16d und 16e aufweisen. Die optischen Achsen 9a, 9b, 9d und 9e der Projektionslinsen 7a, 7b, 7d und 7e verlaufen daher nicht im Schwerpunkt 8.1a, 8.1b, 8.1d und 8.1e der Aperturen 8a, 8b, 8d und 8e der Projektionslinsen 7a, 7b, 7d und 7e. Lediglich die die optische Achse 9c der versatzlosen Projektionslinsen 7c verläuft durch den Schwerpunkt 8.1c der Apertur 8c. Demgegenüber weist das Kondensorenlinsenarray 2 ausschließlich Kondensorenlinsen 3a-e auf, welche keinen Versatz aufweisen. Alle optischen Achsen 5a-e der Kondensorenlinsen 3a-e verlaufen daher im Schwerpunkt 15a-e der Aperturen 4a-e der Kondensorenlinsen 3a-e.

Das Kondensorenlinsenarray 2 weist Kondensorenlinsen 3a-e auf, welche gleichartige Aperturen 4a-e aufweisen. Ebenso weist das Projektionslinsenarray 6 Projektionslinsen 7a-e auf, welche dieselbe Apertur 8a-e aufweisen.

Die numerische Apertur NA berechnet sich auch hier in paraxialer Näherung zu $NA = h/2f$ aus der Brennweite f und der Höhe h der Projektionslinsen 7. Dies entspricht dem Akzeptanzwinkel des klassischen Wabenkondensors der

Figur 1, so dass die Unabhängigkeit des erfindungsgemäßen optischen Strahlformers von der Einstrahlrichtung im Vergleich zum klassischen Wabenkondensator nicht eingeschränkt ist.

- 5 Das Projektionslinsenarray 6 der Figur 13 kann auch mit den Kondensatorlin-
senarrays 2 der Figuren 4, 7 und 10 kombiniert werden.

Mit geeigneten Kombinationen von unterschiedlich großen, gegebenenfalls
auch ablenkenden Kondensatorlinsen 3 können beliebige Intensitätsverteilun-
10 gen IV im Fernfeld erzeugt werden. Optional ermöglichen ablenkende Projek-
tionslinsen 7 eine weitere Vergrößerung der Divergenz der resultierenden
Intensitätsverteilung IV im Fernfeld und eine erhöhte Flexibilität beim Design.
Der resultierende Strahlformer 1 erhält den großen Akzeptanzwinkel und die
hohe Transmission des klassischen Wabenkondensators.

15

Die Einfallswinkelbereiche der optischen Kanäle 10a bis 10e sind aus Grün-
den der Übersichtlichkeit in Figur 13 nicht eingezeichnet, sie entsprechen
jedoch den Einfallswinkelbereichen des in Figur 1 gezeigten klassischen
Wabenkondensators.

20

Figur 14 zeigt die Ausfallwinkelbereiche 11a-e und die Teilintensitätsvertei-
lungen TIVa-e der ausfallenden Teillichtstrahlbündel ATLBa-e der optischen
Kanäle 10a-e des optischen Strahlformers 1 der Figur 13.

- 25 Figur 15 zeigt die resultierende Intensitätsverteilung IV des ausfallenden
Lichtstrahlbündels ALB des optischen Strahlformers 1 der Figur 13.

Figur 16 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen op-
tischen Strahlformers 1 in einer schematischen geschnittenen Seitenansicht.
30 Aus Übersichtlichkeitsgründen sind die Strahlengänge der optischen Kanäle
10b, 10d und 10f nicht dargestellt. Wesentlich ist jedoch, dass die zulässigen

Einfallswinkelbereiche 13.1 sämtlicher optischer Kanäle 10a bis 10f betragsmäßig gleich groß sind.

5 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung verlaufen Hauptstrahlen 13.2 der zulässigen Einfallswinkelbereiche 13.1 zumindest bei einigen der optischen Kanäle 10 schräg zueinander. Dies ermöglicht den Einsatz des optischen Strahlformers 1 in Fällen, bei denen zumindest einige der einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLB des einfallenden Lichtstrahlbündels ELB schräg zueinander einfallen.

10

So verlaufen im Beispiel der Figur 16 die einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLBa, ETLBc und ETLBe schräg zueinander. Dem wird dadurch Rechnung getragen, dass auch die Hauptstrahlen 13.2a, 13.2c und 13.2e schräg zueinander verlaufen. Der Hauptstrahl 13.2a verläuft dabei parallel zu dem einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLBa, der Hauptstrahl 13.2c parallel zu dem einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLBc und der Hauptstrahl 13.2e parallel zu dem einfallenden Teillichtstrahlbündel ETLBe.

20 Wesentlich dabei ist, dass die Beträge der zulässigen Einfallswinkelbereiche 13.1a, 13.1c und 13.1e gleich groß sind, auch wenn die zulässigen Einfallswinkelbereiche 13.1a, 13.1c und 13.1e unterschiedliche aus Richtungen aufweisen.

25 Figur 17 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Strahlformers 1 in einer schematischen räumlichen Schrägansicht. Die Projektionslinsen 7 des Projektionslinsenarrays 6 sind beispielhaft quadratisch und horizontal dezentriert.

30 Figur 18 zeigt das Kondensorenlinienarray 6 des optischen Strahlformers 1 der Figur 17 in einer schematischen räumlichen Schrägansicht.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind das Kondensorlinosenarray 2 an einer ersten Seite eines Substrates 17 und das Projektionslinosenarray 6 an einer zweiten gegenüberliegenden Seite des Substrates 17 angeordnet.

5

Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung umfassen die Kondensorlinosen 3 des Kondensorlinosenarrays 2 rechteckige und quadratische Kondensorlinosen 3, wobei die Projektionslinosen 7 des Projektionslinosenarrays 6 quadratische oder rechteckige Projektionslinosen 7 umfassen.

10

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung weist die Kondensorlinose 3 mit der kleineren Apertur 4 in Richtung ihrer optischen Achse 9 eine kleinere Erstreckung auf als die Kondensorlinose 3 mit der größeren Apertur 4.

15

Die Projektionslinosen 7 des Projektionslinosenarrays 6 sind quadratisch ausgebildet und regulär, nämlich schachbrettartig, angeordnet. Sämtliche der Projektionslinosen 7 sind dabei identisch ausgebildet und weisen infolgedessen eine selbe Brennweite an eine selbe Dicke auf. Ein derartiges Projektionslinosenarray 6 weist einen hohen Füllfaktor auf und ist besonders einfach herzustellen.

20

Die Kondensorlinosen 3 des Kondensorlinosenarrays 2 umfassen quadratische Kondensorlinosen 3a mit einer größeren Apertur, quadratische Kondensorlinosen 3b mit einer kleineren Apertur und rechteckige Kondensorlinosen 3c, deren längere Seite an einer Seite einer der Kondensorlinosen 3a anliegt und deren kürzere Seite an einer Seite einer der Kondensorlinosen 3b anliegt. Die Dicke der Kondensorlinosen 3a, 3b und 3c ist dabei identisch. Auch ein solches Kondensorlinosenarray 2 ist vergleichsweise einfach herstellbar, da

sämtliche Linsen 3 an ihrer Außenfläche eine selbe Krümmung aufweisen. Allerdings ergeben sich so an den Rändern der Kondensorlinosen 3, insbesondere an den Rändern der kleineren quadratischen Kondensorlinosen 3b

30

und an den Rändern der rechteckigen Kondensorlinsen 3c Störflanken, die zu unerwünschtem Streulicht führen können, welches einerseits die Transmission des optischen Strahlformers 1 verringert und andererseits die Intensitätsverteilung IV im Fernfeld unkontrolliert überlagern kann. Um dies zu verhindern, kann vorgesehen sein, die kleineren Kondensorlinsen 3b und 3c mit einer geringeren Dicke im Vergleich zu den größeren Kondensorlinsen 3a auszubilden. Zur Vermeidung von Abbildungsfehlern und zur Vermeidung einer Verringerung des Akzeptanzwinkels, welche beide dadurch entstehen können, dass die geringere Dicke dazu führt, dass die jeweilige Kondensorlinse 3b und 3c näher an die jeweilige Projektionslinsen herangerückt ist, kann es dann allerdings erforderlich sein, die Krümmung der Außenflächen der Kondensorlinsen 3b und 3c anzupassen. Ebenso kann es erforderlich sein, die Krümmung der jeweils zugewiesenen Projektionslinse 7 anzupassen. In vielen Fällen kann die durch die geringere Dicke entstehende Defokussierung auch vernachlässigt werden. Bei typischen numerischen Aperturen $NA \leq 0.2$ ist dieser Effekt vernachlässigbar. Sollte bei höheren numerischen Aperturen eine merkliche Störung eintreten, kann die Krümmung der betroffenen Kondensorlinsen 3 zur Erzielung eines optimal fokussierten Abbilds der Quelle auf den zugeordneten Projektionslinsen 7 angepasst werden. Hierzu dienen im Optikdesign übliche least-squares Optimierungsverfahren.

Unerwünschte Störflanken können auch bei dezentrierten Kondensorlinsen oder bei dezentrierten Projektionslinsen 7 auftreten. Da die Divergenz der Einstrahlung im regulären Betrieb aber kleiner als der Akzeptanzwinkel des Strahlformers 1 ist, gibt es keine Lichtanteile auf den Störflanken des Projektionsarrays. Dieser Fall ist also unkritisch für die Anwendung.

Figur 19 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Strahlformeranordnung 18 in einer schematischen Seitenansicht.

Die optische Strahlformieranordnung 18 zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel ELB weist einen ersten erfindungsgemäßen optischen Strahlformer 1a und einen zweiten erfindungsgemäßen optischen Strahlformer 1b auf, wobei der erste optische Strahlformer 1a und der zweite optische Strahlformer 1b längs einer gemeinsamen Ebene 19 angeordnet sind, und wobei sich die Intensitätsverteilung IV des ersten optischen Strahlformers 1a und die Intensitätsverteilung IV des zweiten optischen Strahlformers 1b unterscheiden.

Das einfallende Lichtstrahlbündel ELB der Strahlformieranordnung 18 besteht dabei aus dem einfallenden Lichtstrahlbündel ELBa des ersten optischen Strahlformers 1a und aus dem einfallenden Lichtstrahlbündel ELBb des zweiten optischen Strahlformers 1b. Das einfallende Lichtstrahlbündel ELBa des ersten optischen Strahlformers und das einfallende Lichtstrahlbündel ELBb des zweiten optischen Strahlformers 1b können dabei von einer selben Lichtquelle stammen. Die Intensitätsverteilung des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB der optischen Strahlformieranordnung 18 ergibt sich dann aus der Überlagerung der Intensitätsverteilung IV des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALBa des ersten optischen Strahlformers 1a und der Intensitätsverteilung des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALBb des zweiten optischen Strahlformers 1b.

Figur 20 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Strahlformieranordnung 20 in einer schematischen Seitenansicht.

Die optische Strahlformieranordnung zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel ELB weist einen ersten erfindungsgemäßen optischen Strahlformer 1a und einen zweiten erfindungsgemäßen optischen Strahlformer 1b, wobei der erste optische Strahlformer 1a und der zweite optische Strahlformer 1b so angeordnet sind, dass zumindest ein Teil des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALBa des ers-

ten optischen Strahlformers 1a dem zweiten optischen Strahlformer 1b als dessen einfallendes Lichtstrahlbündel ELBb zugeführt ist.

Das einfallende Lichtbündel ELBa des ersten optischen Strahlformers 1a ist
5 dabei zugleich das einfallende Lichtbündel ELB der Strahlformeranordnung 20. Weiterhin ist das ausfallende Lichtbündel ALBb des zweiten optischen Strahlformers 1b zugleich das ausfallende Lichtbündel ALB der Strahlformer Anordnung 20.

10 Figur 21 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen optischen Systems 21 in einer schematischen Seitenansicht.

Das optische System 21 zur Erzeugung eines fokussierten ausfallenden Lichtstrahlbündels FALB aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel ELB weist
15 einen erfindungsgemäßen optischen Strahlformer 1 und eine Sammeloptik 22 zum Fokussieren des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB des optischen Strahlformers 1 auf eine Ebene EB auf.

In einem nicht gezeigten zweiten Ausführungsbeispiel weist das optische
20 System 21 zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels FALB aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel ELB eine erfindungsgemäße optische Strahlformeranordnung 19, 20 und eine Sammeloptik 22 zum Fokussieren des ausfallenden Lichtstrahlbündels ALB der optischen Strahlformeranordnung auf eine Ebene EB auf.

25 Durch eine Kombination des optischen Strahlformers 1 bzw. der optischen Strahlformeranordnung 19, 20 mit einer Fokussierlinse 22 ist eine Transformation der winkelbezogenen Intensitätsverteilung in eine ebene Beleuchtungsstärkeverteilung (Illuminanz) mit mehreren homogenen Bereichen, welche
30 verschiedene Beleuchtungsstärken aufweisen, in der Fokalebene dieser Linse 22 möglich.

Bezugszeichen:

- 1 optischer Strahlformer
2 Kondensorlinsenarray
5 3 Kondensorlinse
4 Apertur einer Kondensorlinse
5 optische Achse einer Kondensorlinse
6 Projektionslinsenarray
7 Projektionslinse
10 8 Apertur einer Projektionslinse
8.1 Zentrum einer Apertur einer Projektionslinse
9 optische Achse einer Projektionslinse
10 optischer Kanal
11 Ausfallwinkelbereich
15 12 Brennpunkt einer Kondensorlinse
13 Brennpunkt einer Projektionslinse
13.1 zulässiger Einfallswinkelbereich eines optischen Kanals
13.2 Hauptstrahl des zulässigen Einfallswinkelbereichs
14 Versatz zwischen optischer Achse einer Kondensorlinse und Zentrum
20 der Apertur der Kondensorlinse
15 Zentrum einer Apertur einer Kondensorlinse
16 Versatz zwischen optischer Achse einer Projektionslinse und Zentrum
einer Apertur der Projektionslinse
17 Substrat
25 18 Strahlformeranordnung
19 gemeinsame Ebenen
20 Strahlformeranordnung
21 optisches System
22 Sammeloptik
30
ALB ausfallendes Lichtstrahlbündel
ELB einfallendes Lichtstrahlbündel

AFW Ausfallwinkel

IV Intensitätsverteilung

BHI Bereich mit einer homogenen Intensität

ETLB einfallendes Teillichtstrahlbündel

5 TIV Teilintensitätsverteilung

ATLB ausfallendes Teillichtstrahlbündel

EB Ebene

FALB fokussiertes ausfallendes Lichtstrahlbündel

10 Quellen:

[1] Enrico Geißler, "Meeting the Challenges of Developing LED-based Projection Displays", SPIE 6169 (2006) 619601.

15 [2] Peter Schreiber, Sergey Kudaev, Peter Dannberg, Uwe D. Zeitner, "Homogeneous LED-illumination using microlens arrays", SPIE 5942 (2005) 188-96.

[3] Julius Muschaweck, "Randomized Micro Lens Arrays for Color Mixing", SPIE 7954 (2011) 79540A.
20

[4] Marcel Sieler, Peter Schreiber, Peter Dannberg, Andreas Bräuer, Andreas Tünnermann, "Ultraslim fixed pattern projectors with inherent homogenization of illumination", Appl. Opt. 51 (2012) 64-74.

25

Patentansprüche

1. Optischer Strahlformer zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB) aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel (ELB), wobei der optische Strahlformer (1) umfasst:
- 5
- ein Kondensorlinsenarray (2) zum Empfangen des einfallenden Lichtstrahlbündels (ELB), welches mehrere Kondensorlinsen (3) aufweist, wobei die Kondensorlinsen (3) jeweils eine Apertur (4) und eine optische Achse (5) aufweisen, wobei die optischen Achsen (5) der Kondensorlinsen (3) parallel zueinander verlaufen; und
- 10
- ein parallel zum Kondensorlinsenarray (2) angeordnetes Projektionslinsenarray (6) zum Ausstrahlen des ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB), welches mehrere Projektionslinsen (7) aufweist, wobei die Projektionslinsen (7) jeweils eine ein Zentrum (8.1) aufweisende Apertur (8) und jeweils eine optische Achse (9) aufweisen;
- 15
- wobei jeder der Kondensorlinsen (3) genau eine der Projektionslinsen (7) zugeordnet ist, so dass jede der Kondensorlinsen (3) und die jeweils zugeordnete Projektionslinse (7) einen optischen Kanal (10) von mehreren optischen Kanälen (10) bilden und so dass jeder der mehreren optischen Kanäle (10) aus einem innerhalb eines zulässigen Einfallswinkelbereichs (13.1) des jeweiligen optischen Kanals (10) einfallenden Teillichtstrahlbündel (ETLB) des einfallenden Lichtstrahlbündels (ELB) ein in einem Ausfallwinkelbereich (11) mit einer auf einen Ausfallwinkel (AFW) bezogenen homogenen Teilintensitätsverteilung (TIV) ausfallendes Teillichtstrahlbündel (ATLB) des ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB) erzeugt, wobei die zulässigen Einfallswinkelbereiche (13.1) der optischen Kanäle (10) in einer parallel zu den optischen Achsen (5) der Kondensorlinsen (3) verlaufenden Ebene betragsmäßig gleich groß sind; und
- 20
- 25
- 30

- 5 wobei die Ausfallwinkelbereiche (11) von wenigstens zwei der optischen Kanäle (10) unterschiedlich sind, so dass eine auf den Ausfallwinkel (AFW) bezogene Intensitätsverteilung (IV) in einem Fernfeld des ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB) mehrere Bereiche (BHI) mit einer homogenen Intensität aufweist.
2. Optischer Strahlformer nach vorstehendem Anspruch, wobei die Aperturen (8) der Projektionslinsen (7) gleichartig sind.
 - 10 3. Optischer Strahlformer nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei Hauptstrahlen (13.2) der zulässigen Einfallswinkelbereiche (13.1) zumindest bei einigen der optischen Kanäle (10) parallel zueinander verlaufen.
 - 15 4. Optischer Strahlformer nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei Hauptstrahlen (13.2) der zulässigen Einfallswinkelbereiche (13.1) zumindest bei einigen der optischen Kanäle (10) parallel zu den optischen Achsen (5) der Kondensorlinsen (3) verlaufen.
 - 20 5. Optischer Strahlformer nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei Hauptstrahlen (13.2) der zulässigen Einfallswinkelbereiche (13.1) zumindest bei einigen der optischen Kanäle (10) schräg zueinander verlaufen.
 - 25 6. Optischer Strahlformer nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei bei jedem der mehreren optischen Kanäle (10) ein Brennpunkt (12) der jeweiligen Kondensorlinse (3) in Richtung der optischen Achse (5) der jeweiligen Kondensorlinse (3) in einem Bereich der Projektionslinsen (7) und ein Brennpunkt (13) der jeweiligen Projektionslinse (7) in Richtung der optischen Achse (9) der jeweiligen Projektionslinse (7) in einem Bereich der Kondensorlinsen (3) liegt.

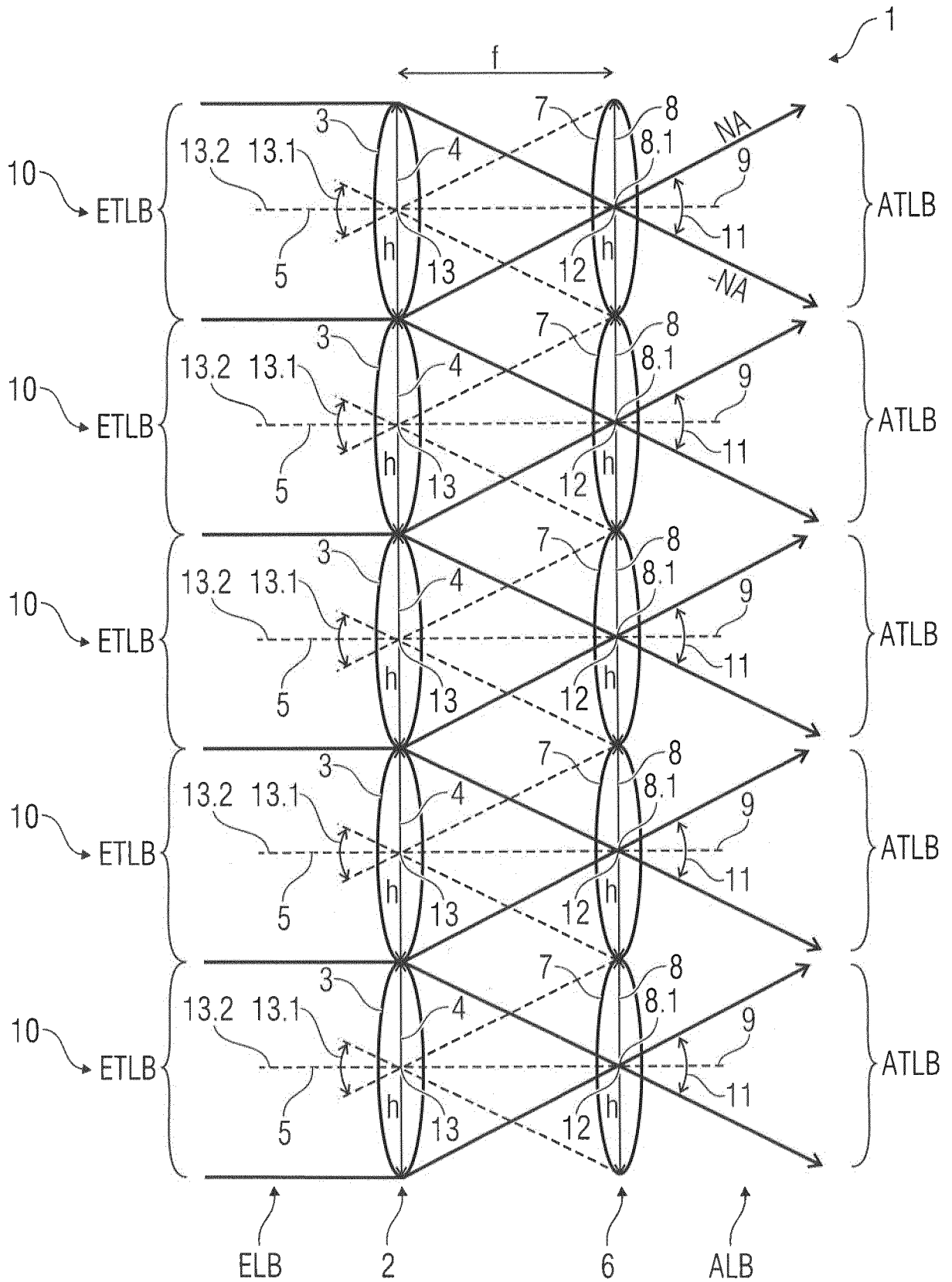
7. Optischer Strahlformer nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei sich wenigstens zwei der unterschiedlichen Ausfallwinkelbereiche (11) überschneiden.
- 5 8. Optischer Strahlformer nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei bei jedem der optischen Kanäle (10) die optische Achse (5) der jeweiligen Kondensorlinse (3) gleich der optischen Achse (9) der jeweiligen Projektionslinse (7) ist.
- 10 9. Optischer Strahlformer nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Apertur (4) der Kondensorlinse (3) eines der optischen Kanäle (10) größer ist als die Aperturen (8) der Projektionslinsen (7) und wobei die Apertur (4) der Kondensorlinse (3) eines anderen der optischen Kanäle (10) kleiner ist als die Aperturen (8) der Projektionslinsen.
- 15 10. Optischer Strahlformer nach vorstehendem Anspruch, wobei die Kondensorlinsen (3) des Kondensorlinsenarrays (2) rechteckige und quadratische Kondensorlinsen (3) umfassen und wobei die Projektionslinsen (7) des Projektionslinsenarrays (6) quadratische oder rechteckige Projektionslinsen (7) umfassen.
- 20 11. Optischer Strahlformer nach Anspruch 9 oder 10, wobei die Kondensorlinse (3) mit der kleineren Apertur (4) eine geringere Erstreckung in Richtung ihrer optischen Achse (9) aufweist als die Kondensorlinse (3) mit der größeren Apertur (4).
- 25 12. Optischer Strahlformer nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die optische Achse (5) der Kondensorlinse (3) eines der optischen Kanäle (10) einen Versatz (14) zu einem Zentrum (15) der Apertur (4) der jeweiligen Kondensorlinse (3) aufweist.
- 30

13. Optischer Strahlformer nach vorstehendem Anspruch, wobei die optische Achse (5) der Kondensorlinse (3) eines anderen der optischen Kanäle (10) keinen Versatz (14) oder einen anderen Versatz (14) zu dem Zentrum (15) der Apertur (4) der jeweiligen Kondensorlinse (3) aufweist.
- 5
14. Optischer Strahlformer nach Anspruch 12 oder 13, wobei die Aperturen (4) der Kondensorlinsen (3) des Kondensorlinsenarrays (2) regulär hexagonal angeordnet und gleichartig mit runder oder hexagonaler Form ausgebildet sind und wobei die Aperturen (8) der Projektionslinsen (7) des Projektionslinsenarrays (6) regulär hexagonal angeordnet und mit runder oder hexagonaler Form ausgebildet sind.
- 10
15. Optischer Strahlformer nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die optische Achse (9) der Projektionslinse (7) eines der optischen Kanäle (10) einen Versatz (16) zu dem Zentrum (8.1) der Apertur (8) der jeweiligen Projektionslinse (7) aufweist.
- 15
16. Optischer Strahlformer nach vorstehendem Anspruch, wobei die optische Achse (9) der Projektionslinse (7) eines anderen der optischen Kanäle (10) keinen Versatz (14) oder einen anderen Versatz (14) zu dem Zentrum (8.1) der Apertur (8) der jeweiligen Projektionslinse (7) aufweist.
- 20
17. Optischer Strahlformer nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Kondensorlinsenarray (2) an einer ersten Seite eines Substrates (17) und das Projektionslinsenarray (6) an einer zweiten gegenüberliegenden Seite des Substrates (17) angeordnet sind.
- 25
18. Optischer Strahlformer nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei bei jedem der optischen Kanäle (10) die jeweilige Kondensorlinse (3) das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel (ETLB) auf das Zentrum (8.1) der Apertur (8) der jeweiligen Projektionslinse (7) fokussiert, wenn das
- 30

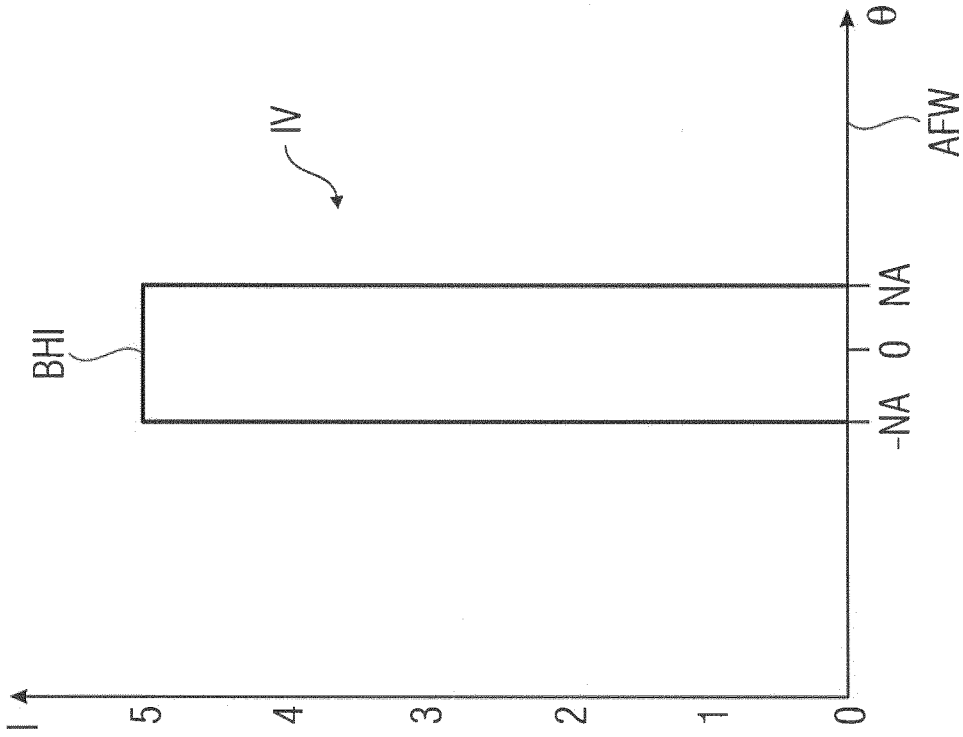
jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel (ETLB) parallel zu der optischen Achse (5) der jeweiligen Kondensorlinse (3) einfällt.

19. Optischer Strahlformer nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei bei
5 jedem der optischen Kanäle (10) die jeweilige Kondensorlinse (3) das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel (ETLB) auf das Zentrum (8.1) der Apertur (8) der jeweiligen Projektionslinse (7) fokussiert, wenn das jeweilige einfallende Teillichtstrahlbündel (ETLB) unter einem Winkel zu der optischen Achse (5) der jeweiligen Kondensorlinse (3) einfällt.
- 10
20. Optische Strahlformeranordnung zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB) aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel (ELB), wobei die Strahlformeranordnung (18) einen ersten optischen Strahlformer (1a) nach einem der Ansprüche 1 bis 19 und einen zweiten optischen
15 Strahlformer (1b) nach einem der Ansprüche 1 bis 19 aufweist, wobei der erste optische Strahlformer (1a) und der zweite optische Strahlformer (1b) längs einer gemeinsamen Ebene (19) angeordnet sind, und wobei sich die Intensitätsverteilung (IV) des ersten optischen Strahlformers (1a) und die Intensitätsverteilung (IV) des zweiten optischen Strahlformers (1b) unterscheiden.
- 20
21. Optische Strahlformeranordnung zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB) aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel (ELB), wobei die Strahlformeranordnung (20) einen ersten optischen Strahlformer (1a) nach einem der Ansprüche 1 bis 19 und einen zweiten optischen
25 Strahlformer (1b) nach einem der Ansprüche 1 bis 19 aufweist, wobei der erste optische Strahlformer (1a) und der zweite optische Strahlformer (1b) so angeordnet sind, dass zumindest ein Teil des ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALBa) des ersten optischen Strahlformers (1a) dem zweiten optischen Strahlformer (1b) als dessen einfallendes Lichtstrahlbündel
30 (ELBb) zugeführt ist.

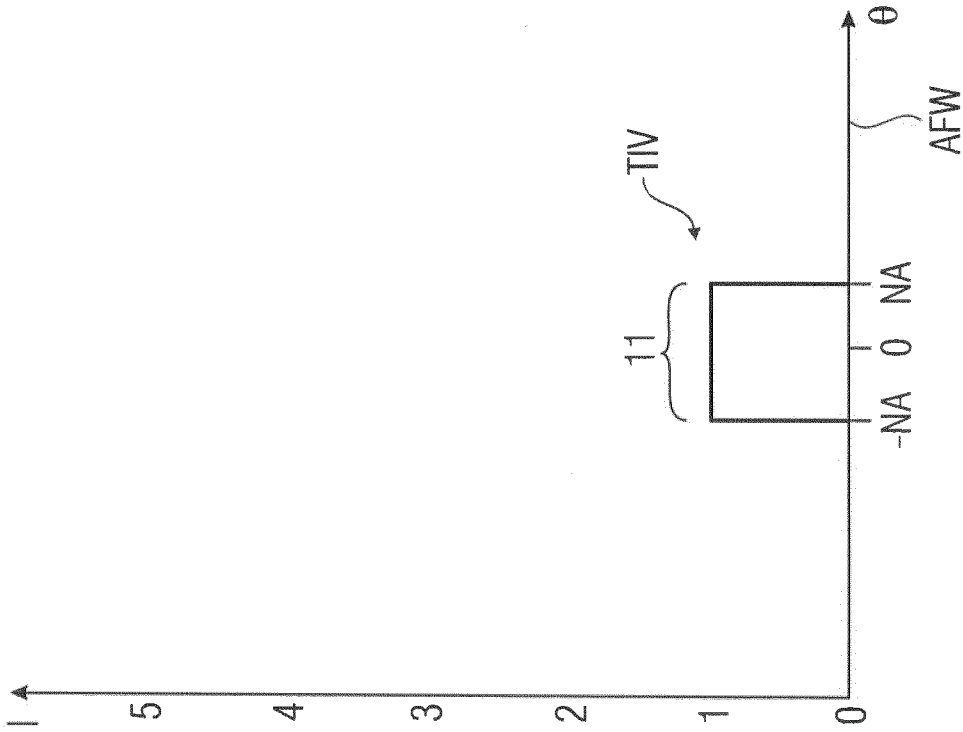
22. Optisches System zur Erzeugung eines fokussierten ausfallenden Lichtstrahlbündels (FALB) aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel (ELB), wobei das optische System (21) einen optischen Strahlformer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 19 und eine Sammeloptik (22) zum Fokussieren des ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB) des optischen Strahlformers (1) auf eine Ebene (EB) aufweist.
23. Optisches System zur Erzeugung eines fokussierten ausfallenden Lichtstrahlbündels (FALB) aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel (ELB), wobei das optische System (21) einen optischen Strahlformer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 19 und eine Zerstreuungsoptik zur Vergrößerung einer Divergenz des ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB) des optischen Strahlformers (1) aufweist.
24. Optisches System zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels (FALB) aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel (ELB), wobei das optische System (21) eine optische Strahlformeranordnung (19, 20) nach einem der Ansprüche 20 oder 21 und eine Sammeloptik (22) zum Fokussieren des ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB) der optischen Strahlformeranordnung auf eine Ebene (EB) aufweist.
25. Optisches System zur Erzeugung eines ausfallenden Lichtstrahlbündels (FALB) aus einem einfallenden Lichtstrahlbündel (ELB), wobei das optische System (21) eine optische Strahlformeranordnung (19, 20) nach einem der Ansprüche 20 oder 21 und eine Zerstreuungsoptik zur Vergrößerung einer Divergenz des ausfallenden Lichtstrahlbündels (ALB) der optischen Strahlformeranordnung aufweist.



Figur 1
(STAND DER TECHNIK)

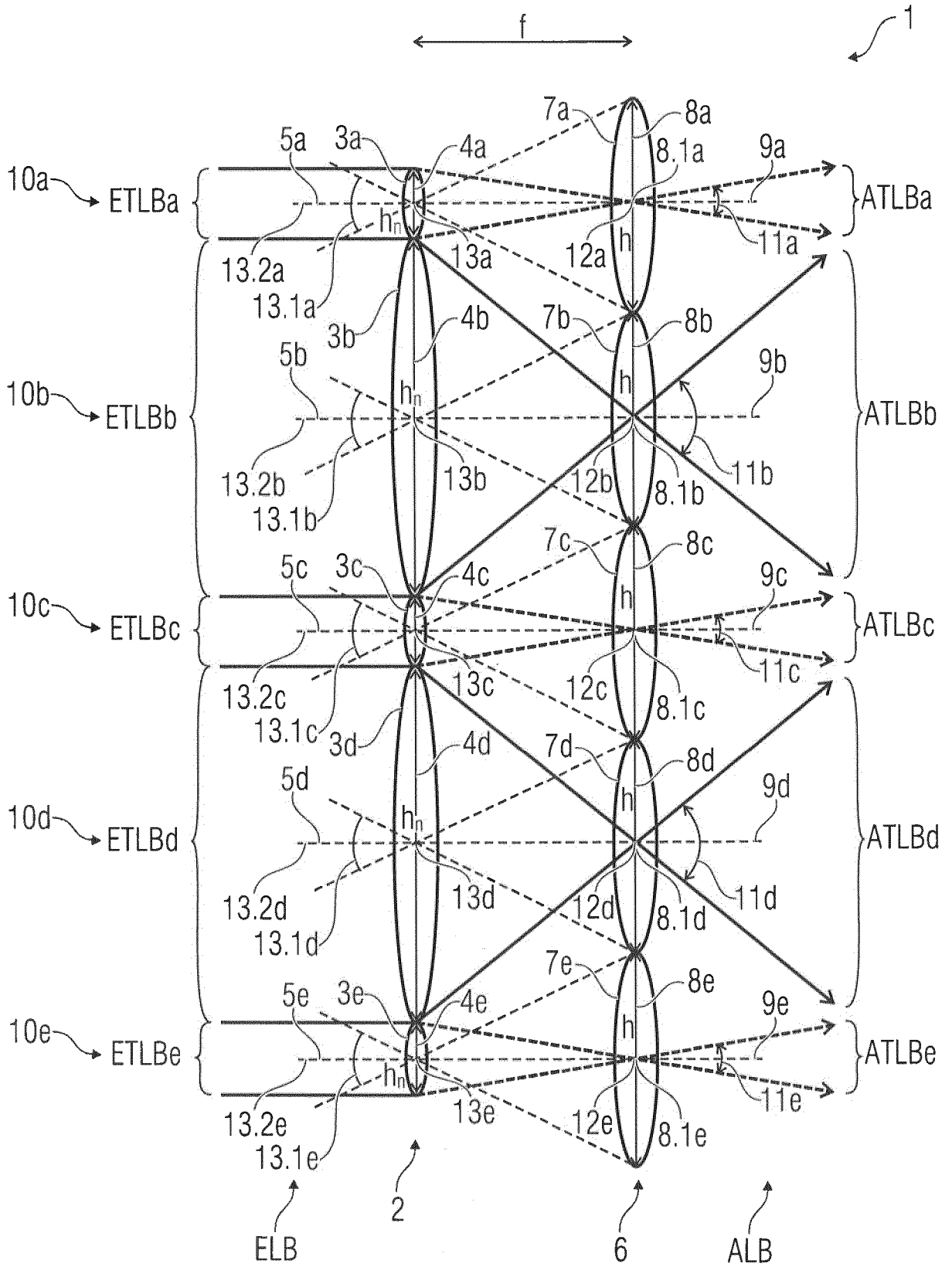


Figur 3
(STAND DER TECHNIK)



Figur 2
(STAND DER TECHNIK)

3/16



Figur 4

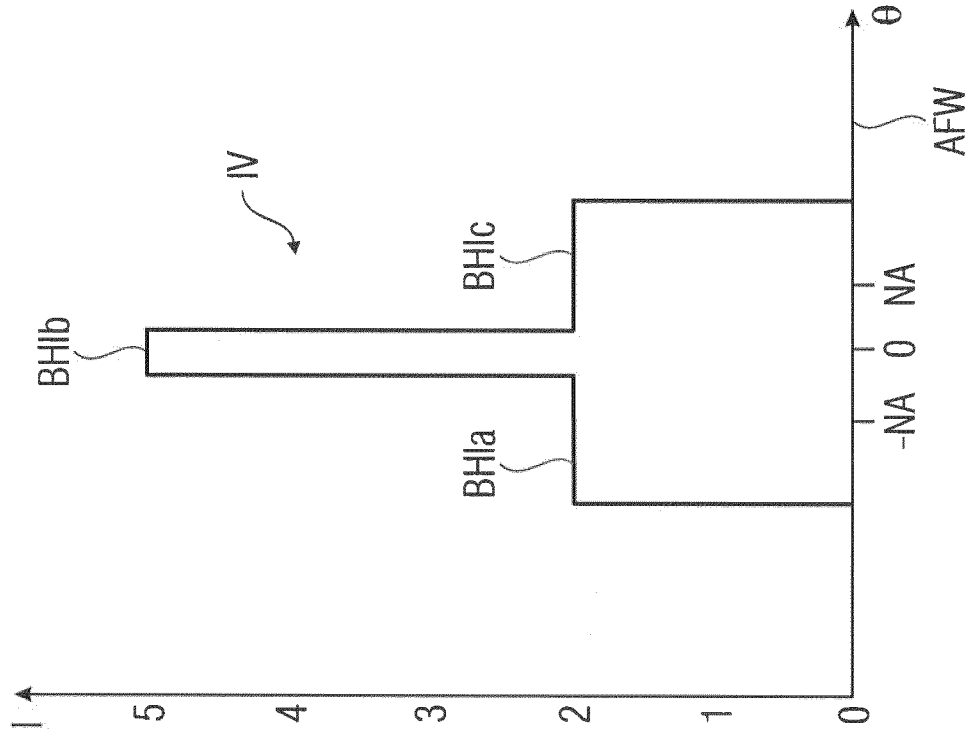


Figure 6

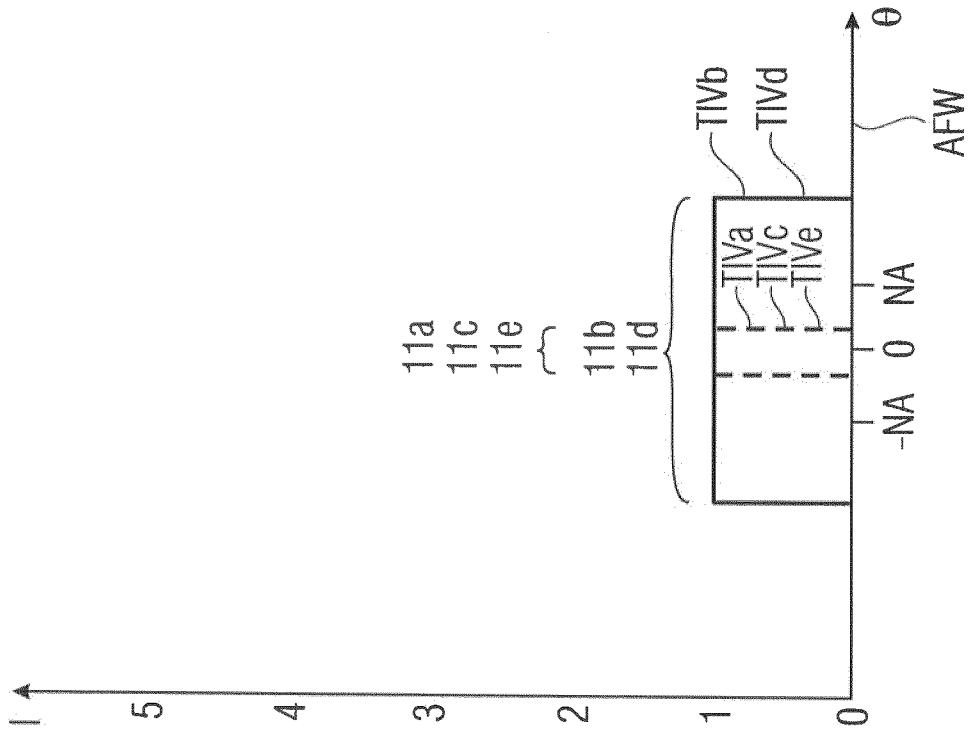
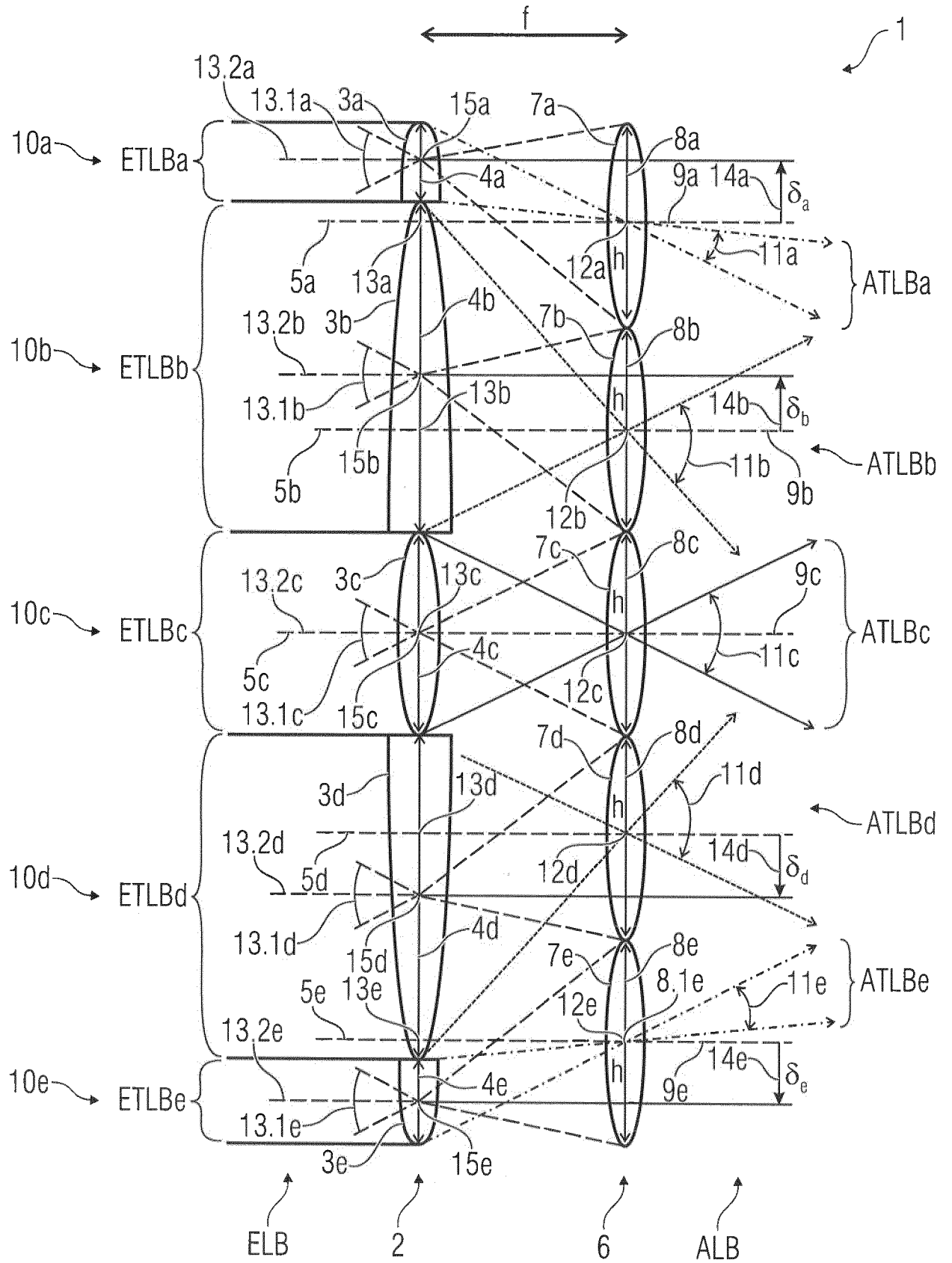


Figure 5



Figur 7

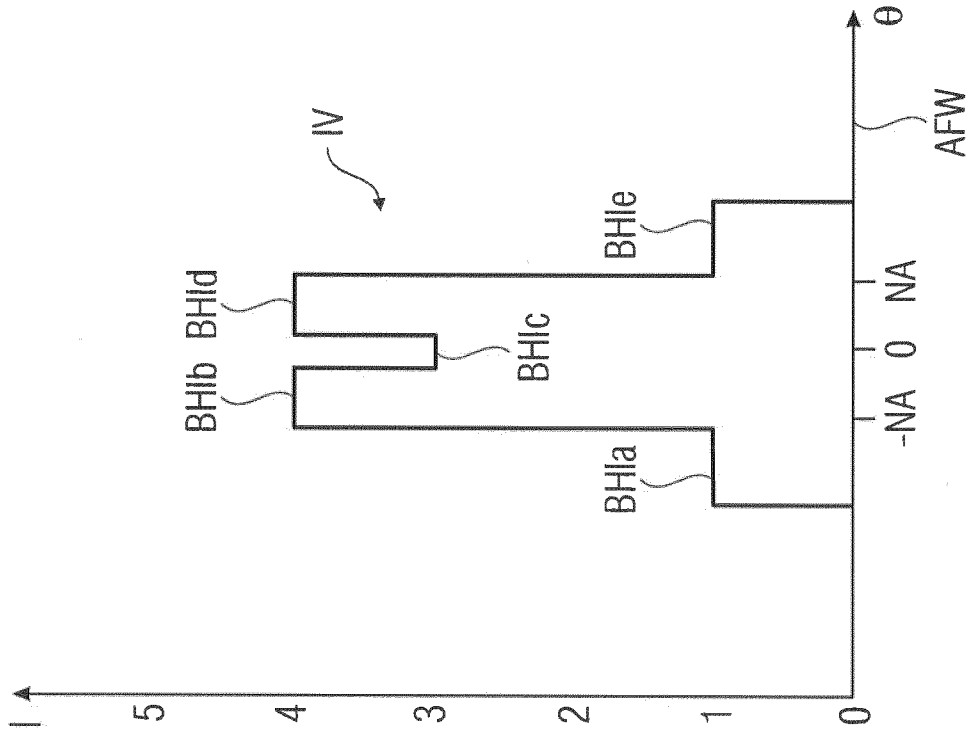


Figure 9

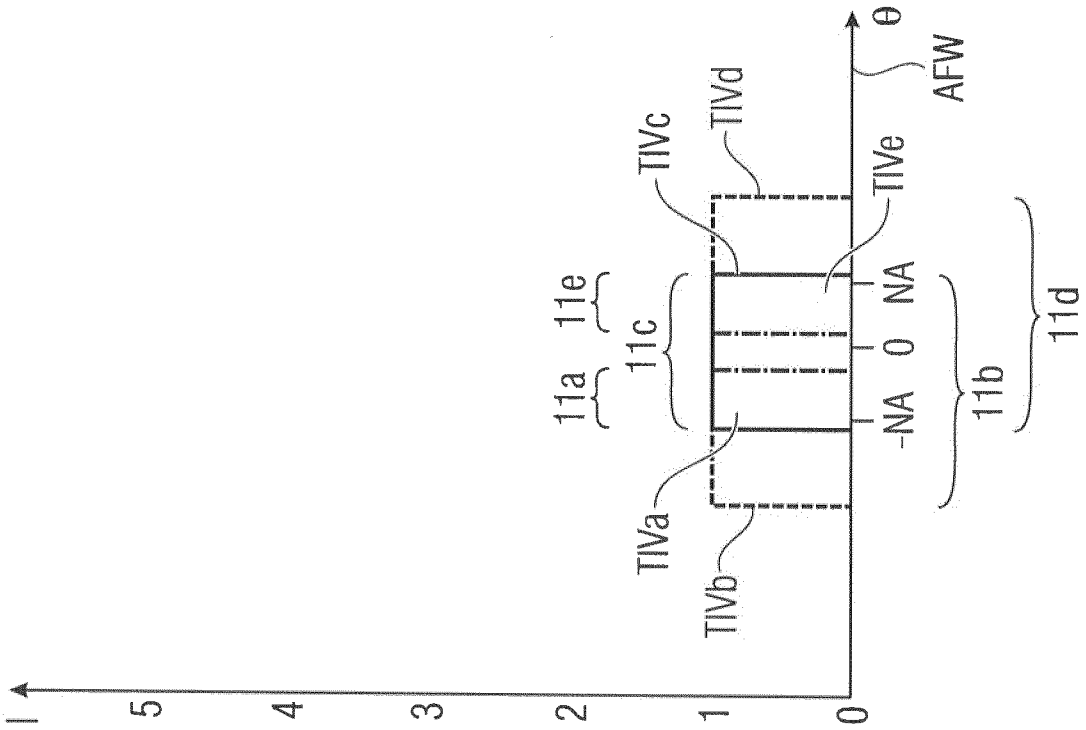
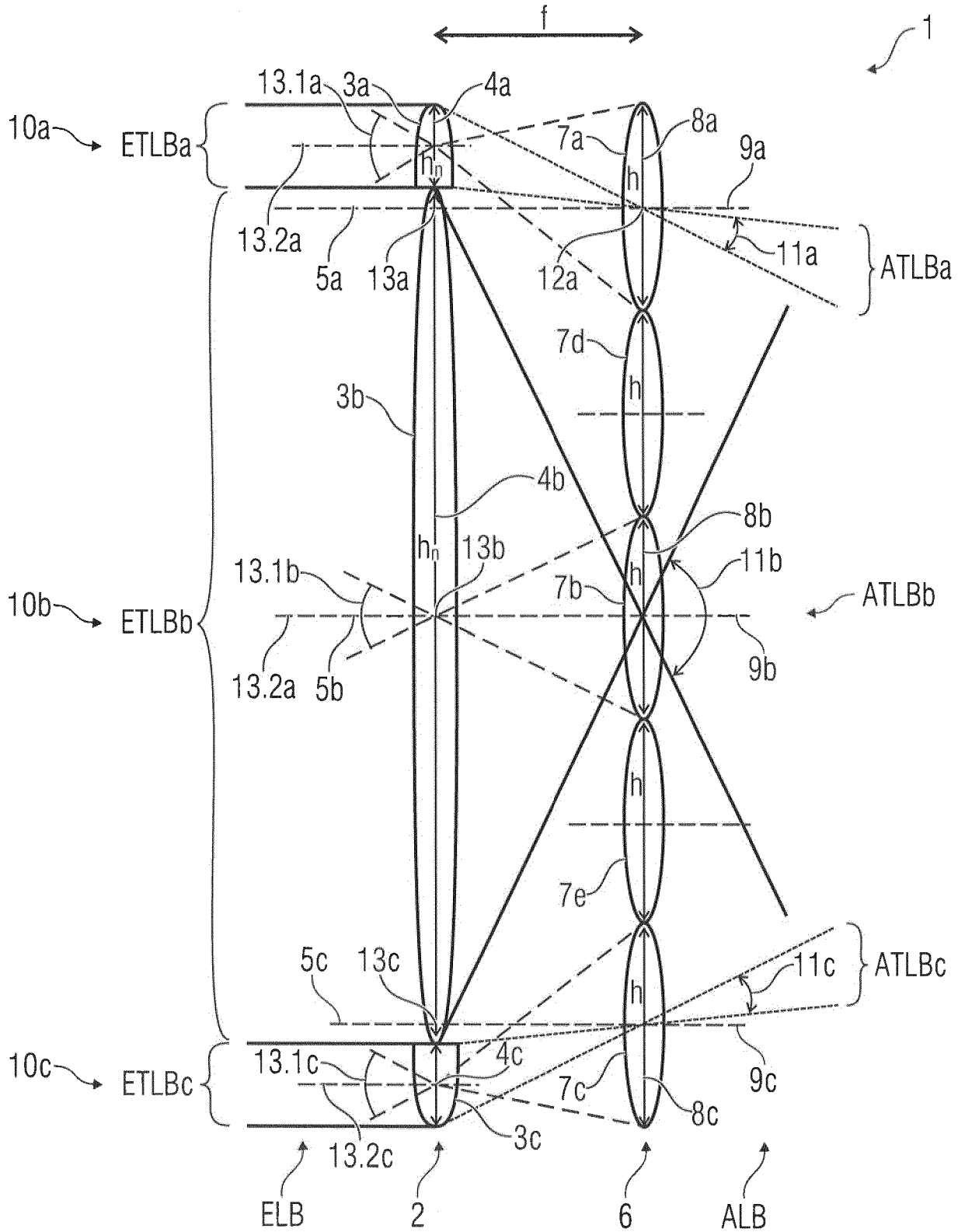


Figure 8



Figur 10

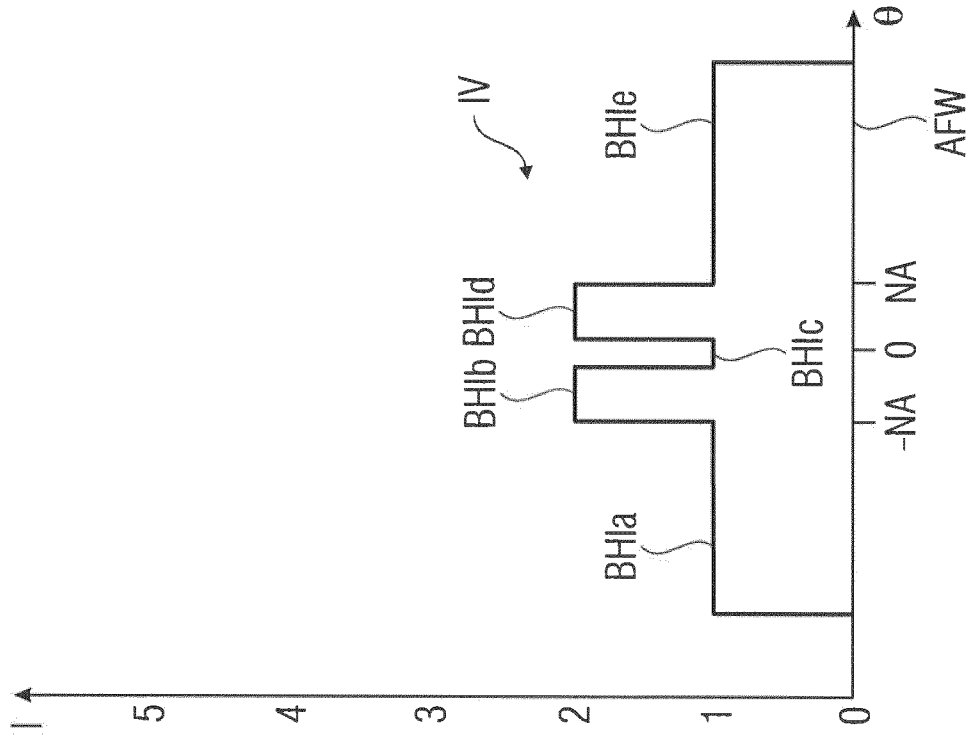


Figure 12

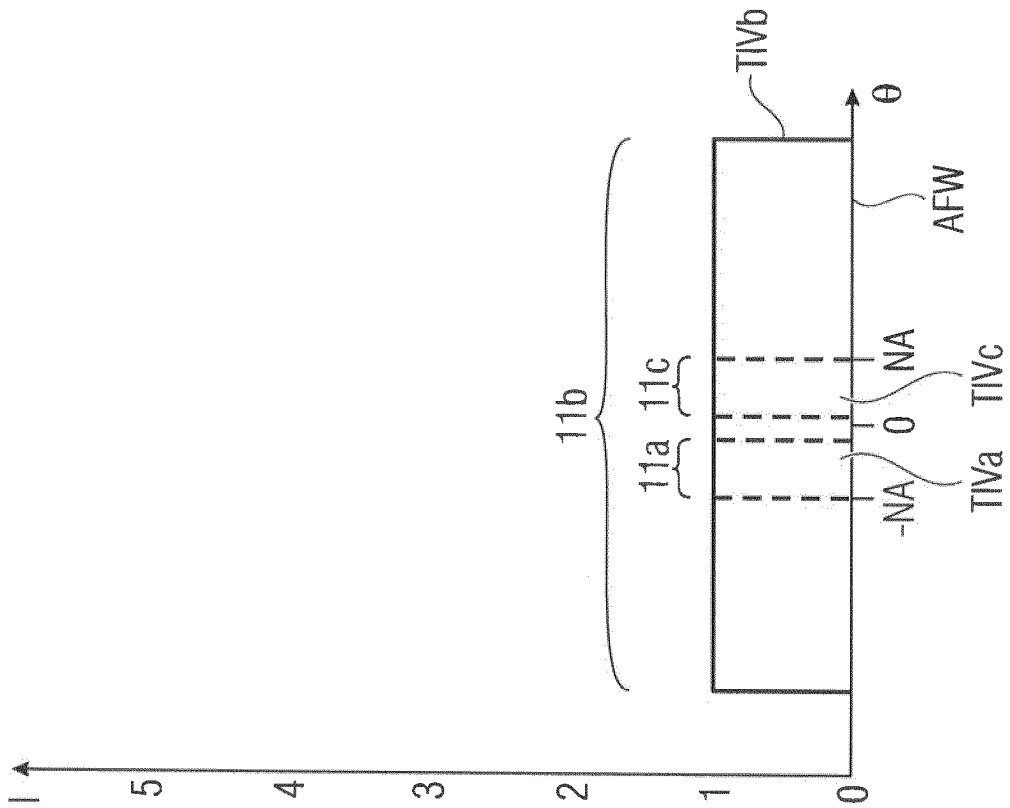


Figure 11

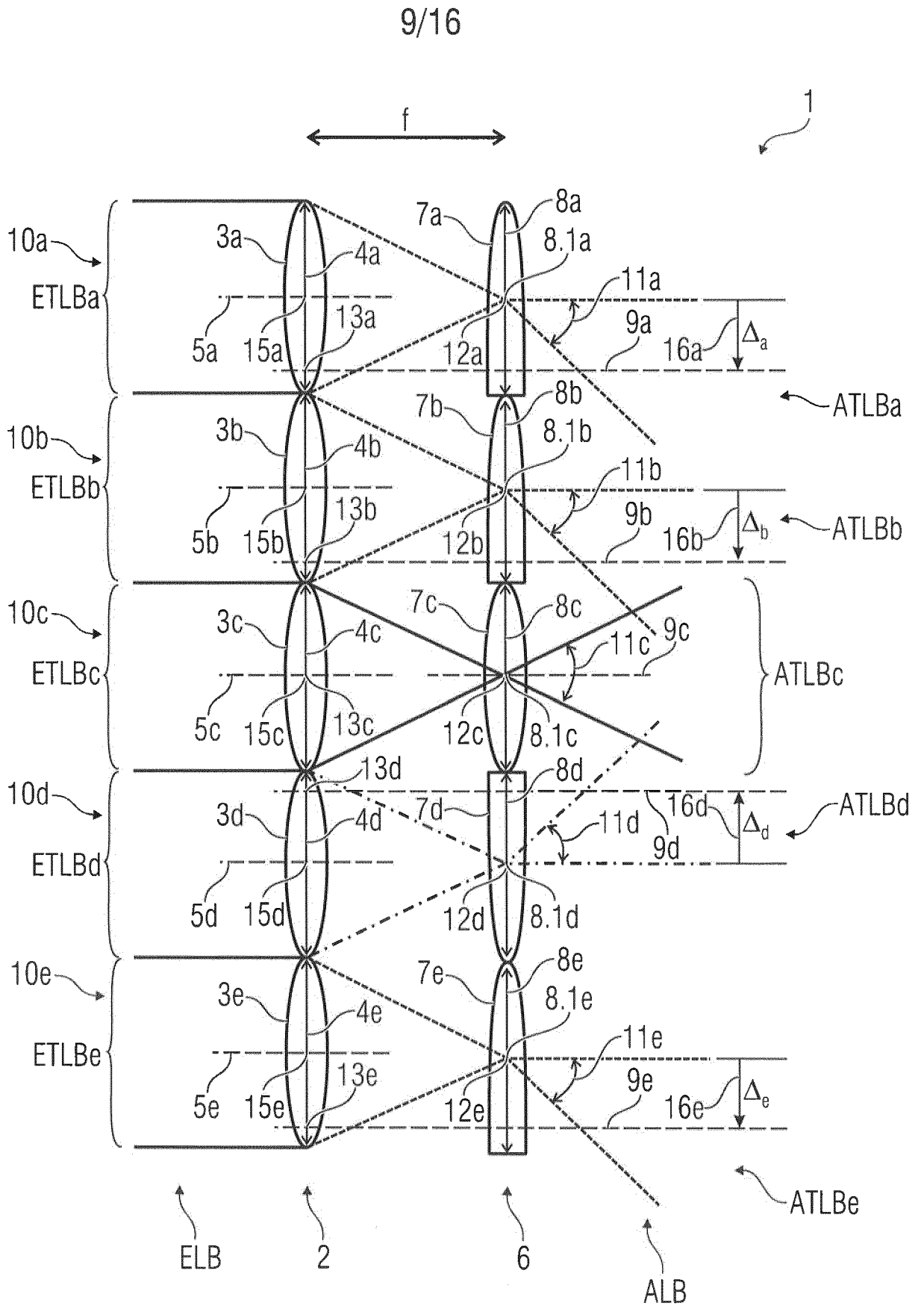


Figure 13

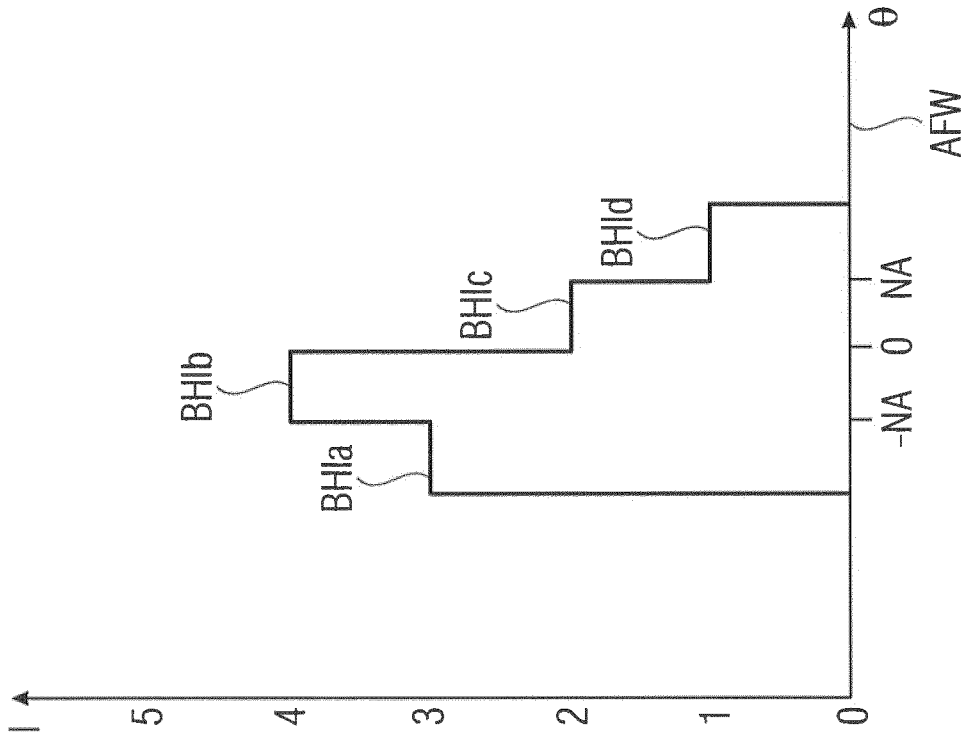


Figure 15

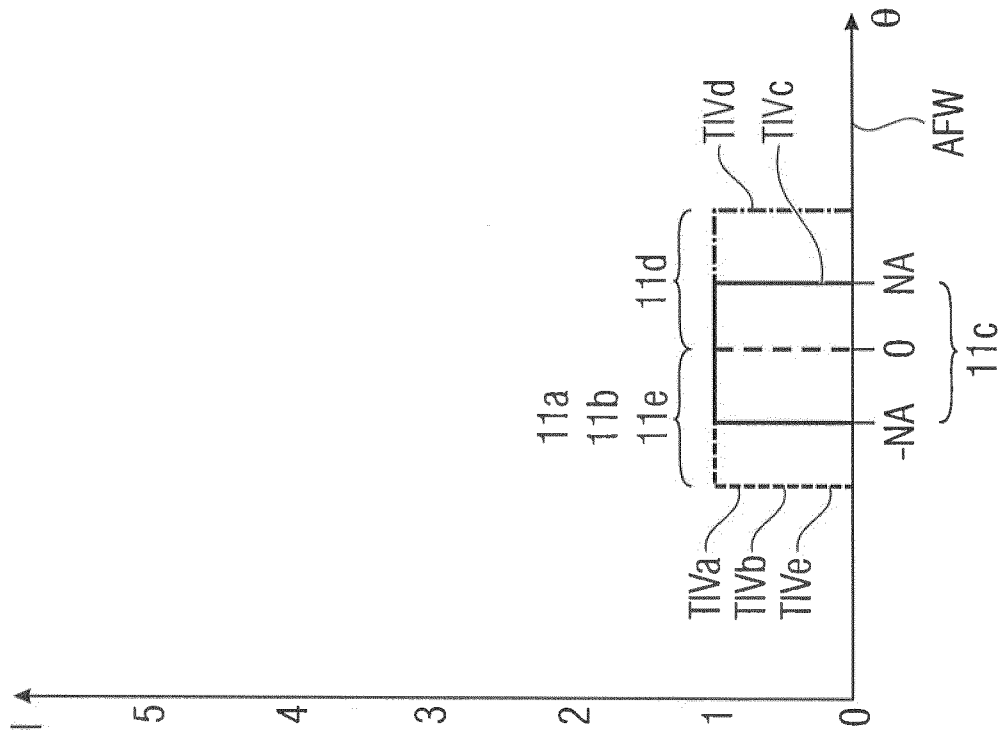
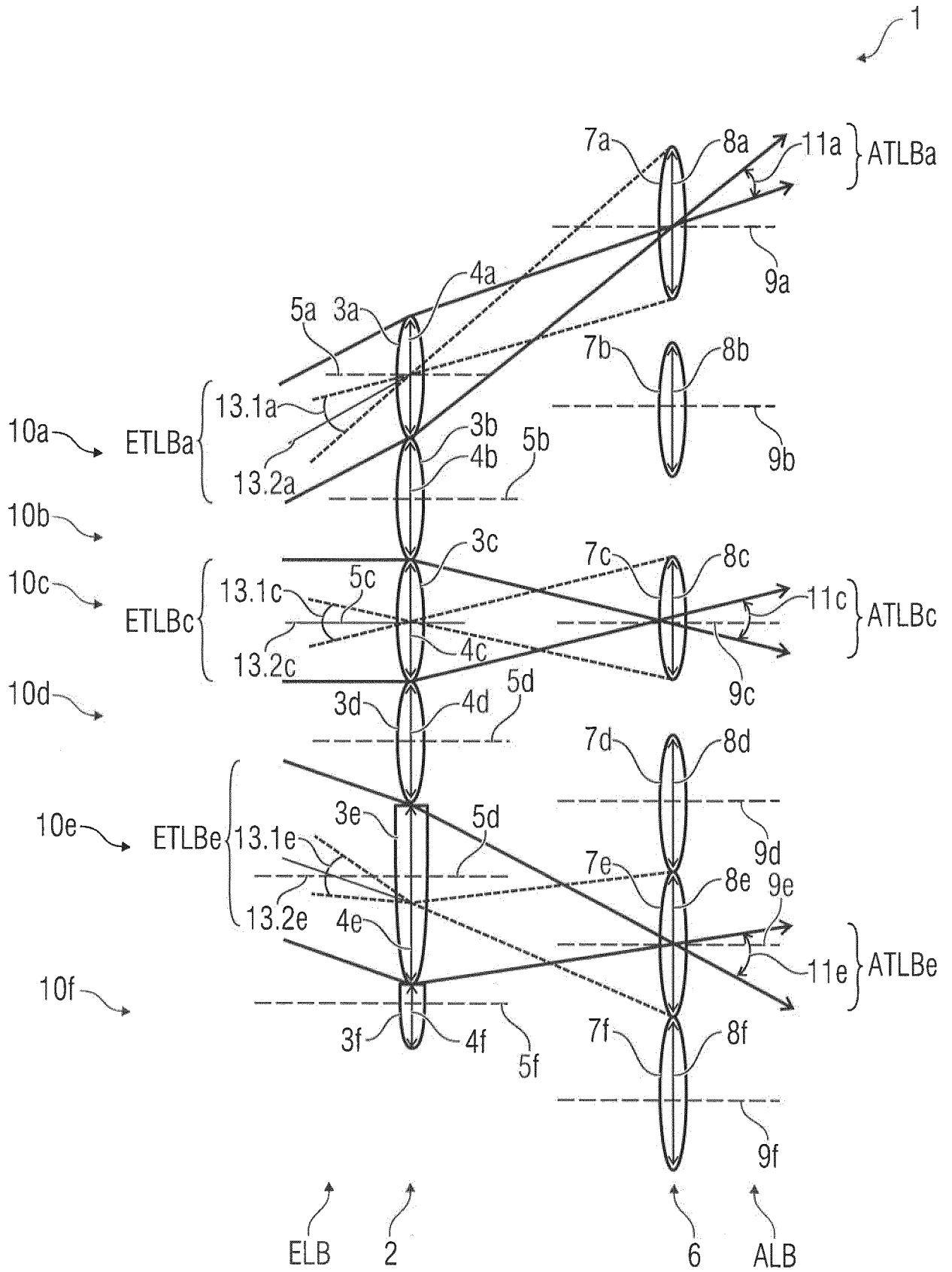
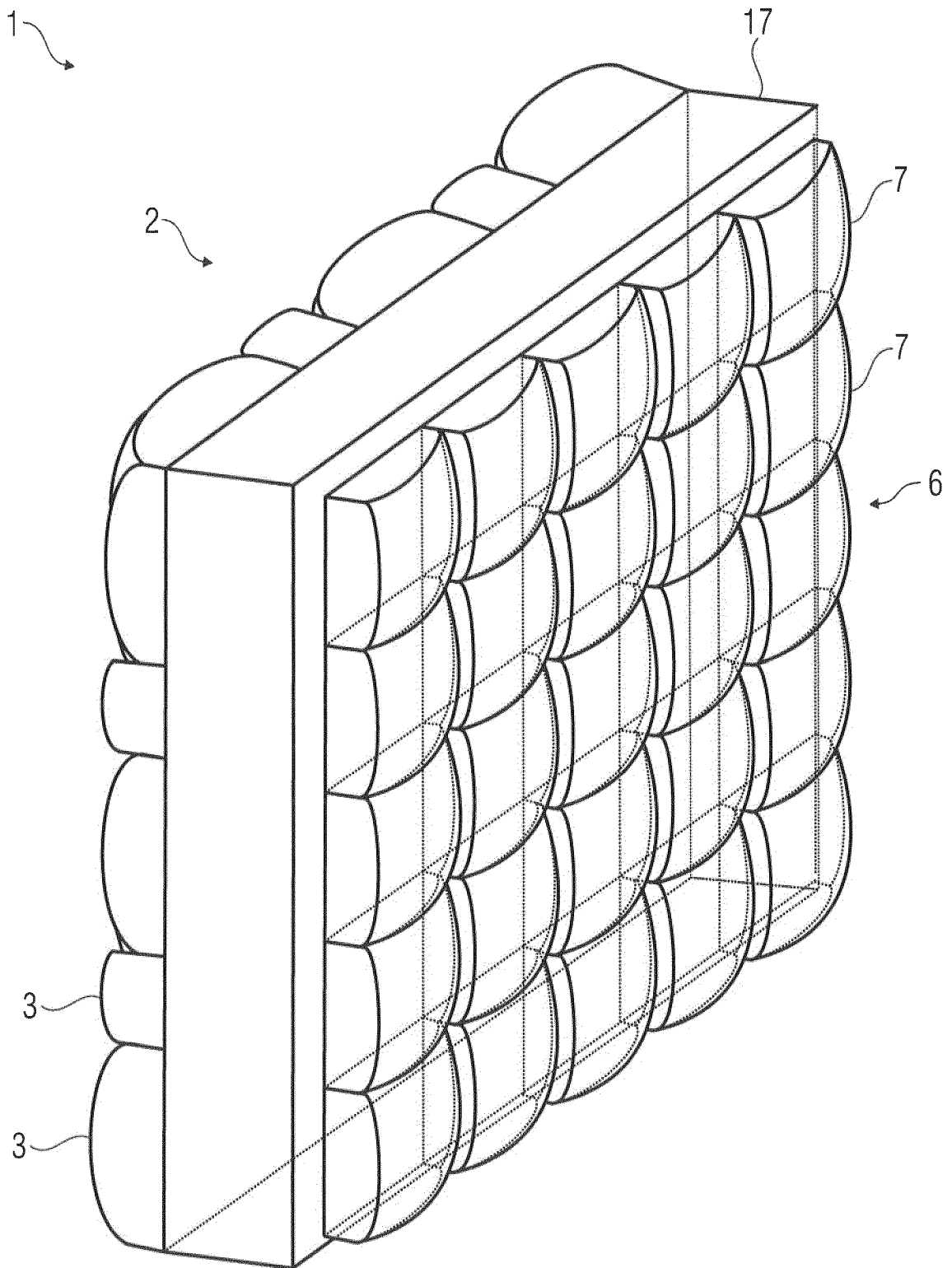


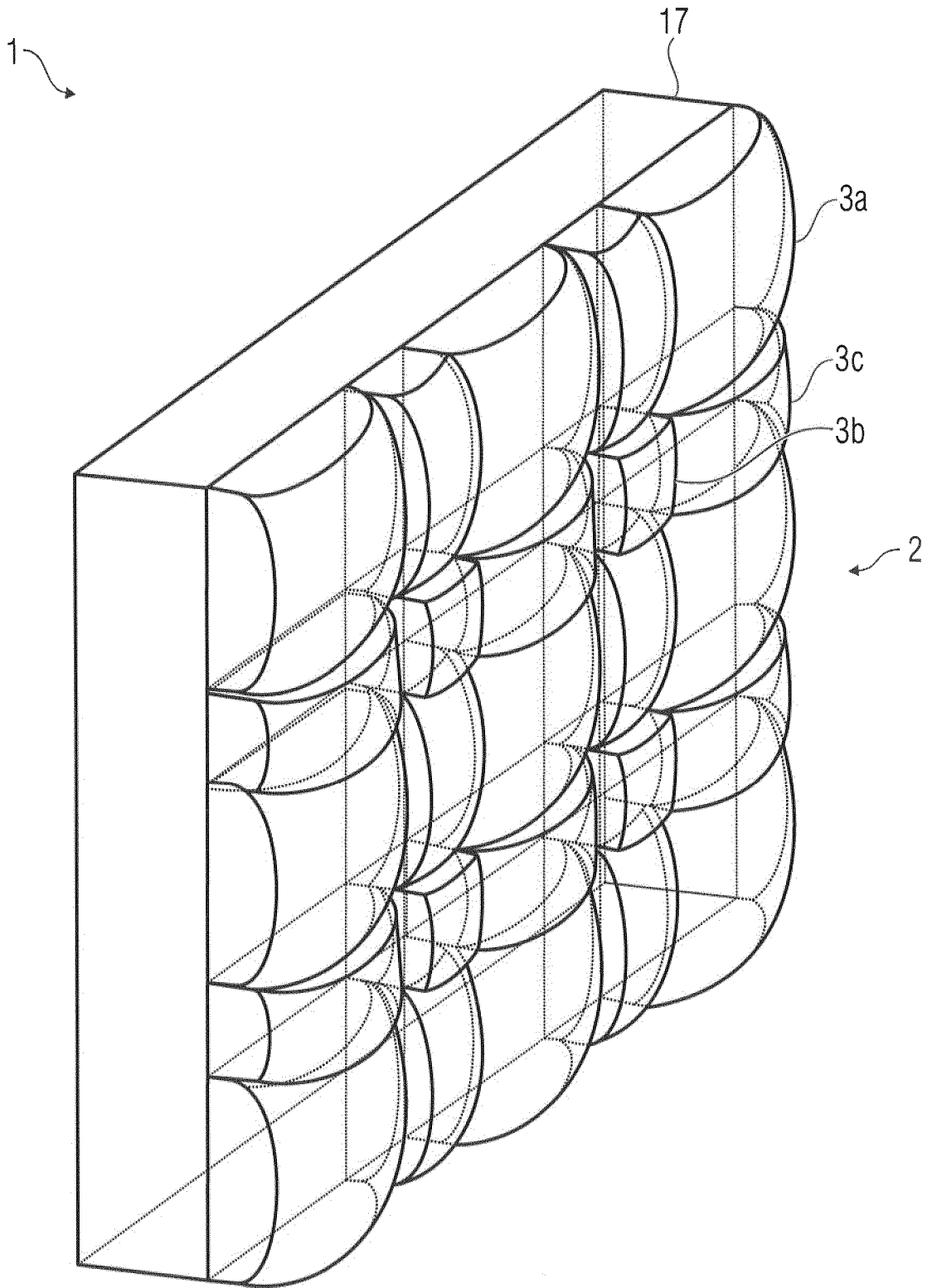
Figure 14



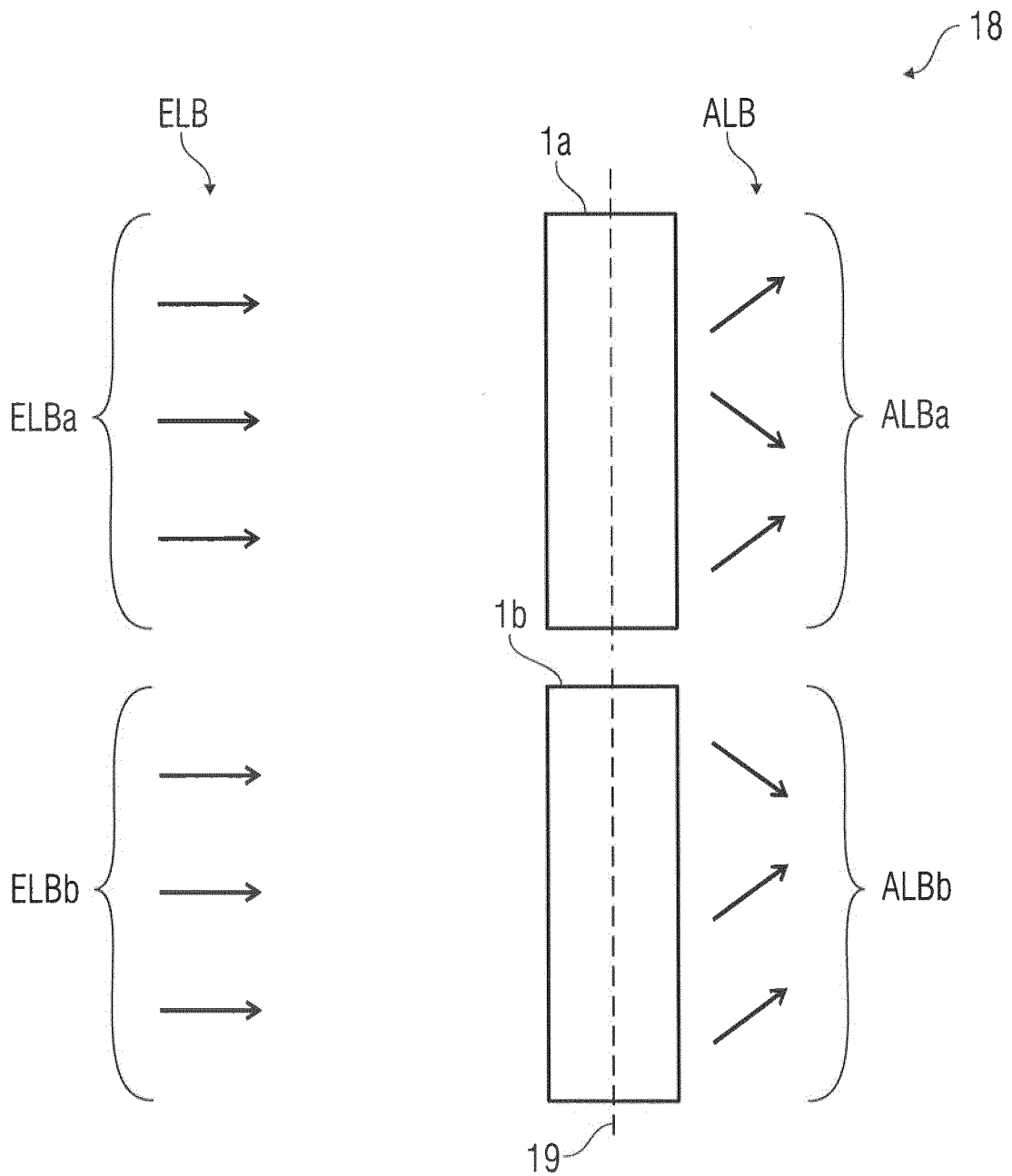
Figur 16



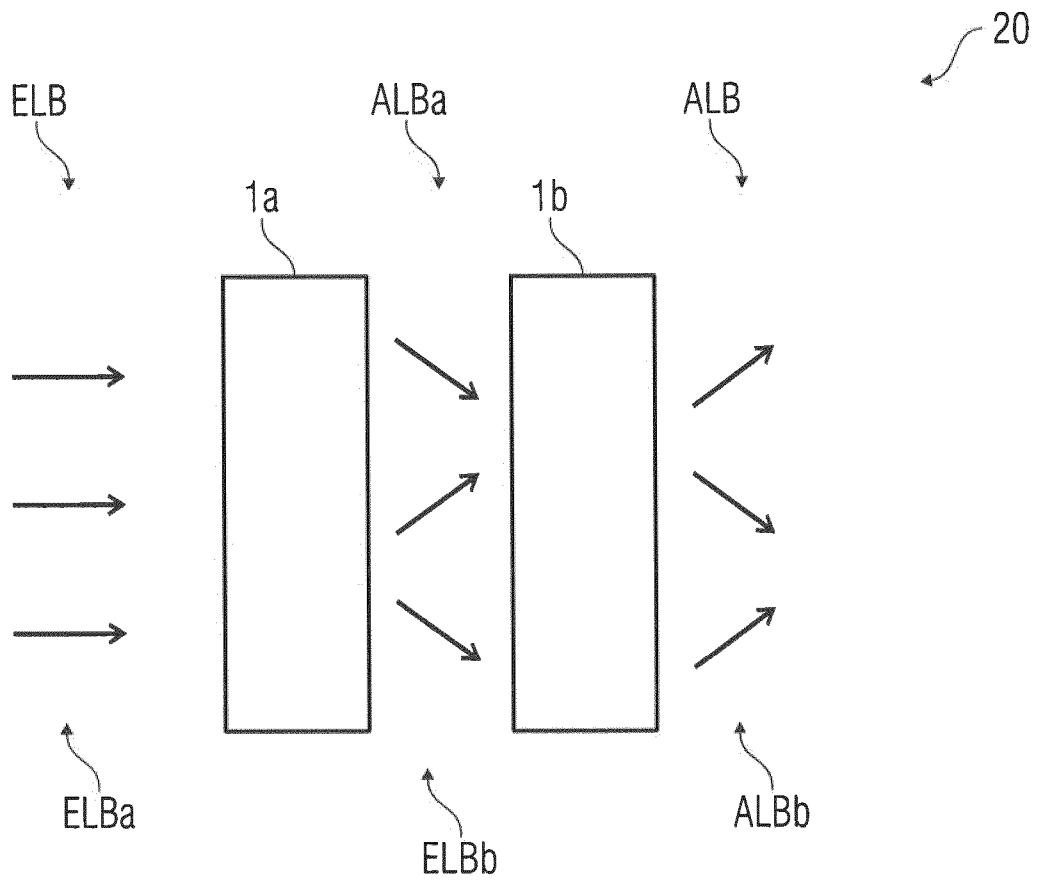
Figur 17



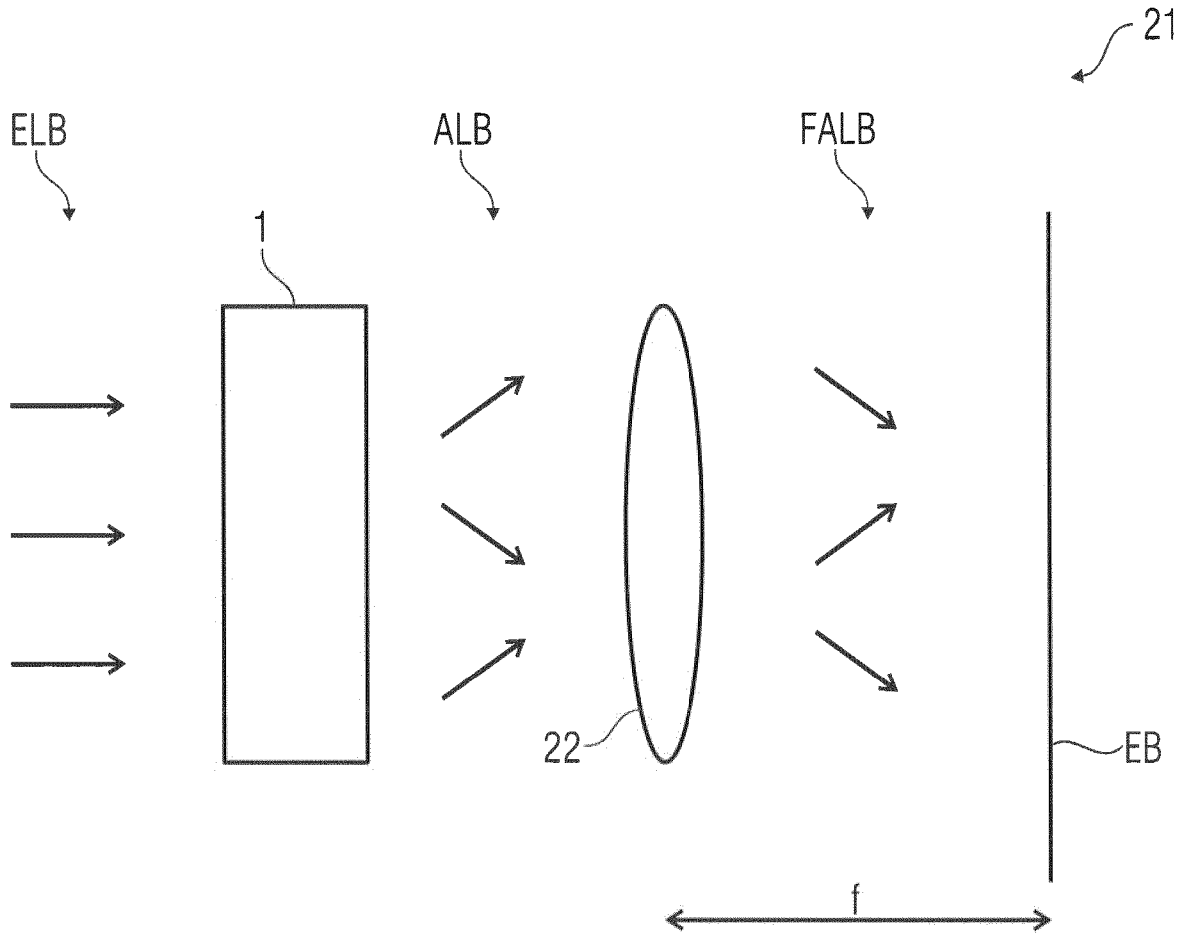
Figur 18



Figur 19



Figur 20



Figur 21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/076355

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G02B 3/00</i> (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) G02B		
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 5963305 A (MIZOUCHI SATORU [JP]) 05 October 1999 (1999-10-05)	1-4,6-8,12,13, 15-19,22-25
Y	column 5, line 43 - column 17, line 49; figures 1-32	5,9-11,14,20,21
Y	DE 102009032939 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 20 January 2011 (2011-01-20) paragraph [0005] - paragraph [0074]; figures 1-9	9-11,20
Y	WO 2014119237 A1 (SONY CORP [JP]) 07 August 2014 (2014-08-07) abstract; figures 1-25	21
Y	WO 9422040 A1 (UNIV MONTFORT [GB]; DAVIES NEIL [GB]; MCCORMICK MALCOLM [GB]) 29 September 1994 (1994-09-29) page 1, paragraph 2 - page 9, paragraph 4; figures 1-7	14
Y	DE 19755565 A1 (EASTMAN KODAK CO [US]) 25 June 1998 (1998-06-25) page 3, line 49 - page 13, line 60; figures 1-28	5
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 23 January 2019		Date of mailing of the international search report 01 February 2019
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 Frisch, Anna Maria Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/076355

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	5963305	A	05 October 1999	NONE	
DE	102009032939	A1	20 January 2011	DE 102009032939 A1	20 January 2011
				WO 2011006710 A2	20 January 2011
WO	2014119237	A1	07 August 2014	CN 104364678 A	18 February 2015
				JP 5884743 B2	15 March 2016
				JP 2014146542 A	14 August 2014
				US 2015055100 A1	26 February 2015
				WO 2014119237 A1	07 August 2014
WO	9422040	A1	29 September 1994	AT 171789 T	15 October 1998
				AU 6288294 A	11 October 1994
				DE 69413678 D1	05 November 1998
				DE 69413678 T2	06 May 1999
				EP 0690996 A1	10 January 1996
				JP 3461828 B2	27 October 2003
				JP H08508109 A	27 August 1996
				US 5650876 A	22 July 1997
				WO 9422040 A1	29 September 1994
DE	19755565	A1	25 June 1998	DE 19755565 A1	25 June 1998
				JP H10186107 A	14 July 1998
				US 5822125 A	13 October 1998

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G02B3/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G02B		
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 5 963 305 A (MIZOUCHI SATORU [JP]) 5. Oktober 1999 (1999-10-05)	1-4,6-8, 12,13, 15-19, 22-25
Y	Spalte 5, Zeile 43 - Spalte 17, Zeile 49; Abbildungen 1-32	5,9-11, 14,20,21
Y	DE 10 2009 032939 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 20. Januar 2011 (2011-01-20) Absatz [0005] - Absatz [0074]; Abbildungen 1-9	9-11,20
Y	WO 2014/119237 A1 (SONY CORP [JP]) 7. August 2014 (2014-08-07) Zusammenfassung; Abbildungen 1-25	21
	----- -/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"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</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
23. Januar 2019		01/02/2019
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 Frisch, Anna Maria

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 94/22040 A1 (UNIV MONTFORT [GB]; DAVIES NEIL [GB]; MCCORMICK MALCOLM [GB]) 29. September 1994 (1994-09-29) Seite 1, Absatz 2 - Seite 9, Absatz 4; Abbildungen 1-7	14
Y	DE 197 55 565 A1 (EASTMAN KODAK CO [US]) 25. Juni 1998 (1998-06-25) Seite 3, Zeile 49 - Seite 13, Zeile 60; Abbildungen 1-28	5

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/076355

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5963305	A	05-10-1999	KEINE

DE 102009032939	A1	20-01-2011	DE 102009032939 A1
			WO 2011006710 A2

WO 2014119237	A1	07-08-2014	CN 104364678 A
			JP 5884743 B2
			JP 2014146542 A
			US 2015055100 A1
			WO 2014119237 A1

WO 9422040	A1	29-09-1994	AT 171789 T
			AU 6288294 A
			DE 69413678 D1
			DE 69413678 T2
			EP 0690996 A1
			JP 3461828 B2
			JP H08508109 A
			US 5650876 A
			WO 9422040 A1

DE 19755565	A1	25-06-1998	DE 19755565 A1
			JP H10186107 A
			US 5822125 A
