

(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
20. September 2012 (20.09.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/123128 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 11/25 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/001204

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. März 2012 (15.03.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 014 779.9 15. März 2011 (15.03.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V.** [DE/DE]; Hansastr. 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ZWICK, Susanne**
[DE/DE]; Sophienstr. 27, 07743 Jena (DE). **NOTNI,
Gunther** [DE/DE]; Franz-Kugler-Str. 14, 07749 Jena

(DE). **KÜHMSTEDT, Peter** [DE/DE]; Am Wiesenbach
20, 07751 Jena (DE).

(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR**;
Joachimstaler Str. 12, 10719 Berlin (DE).

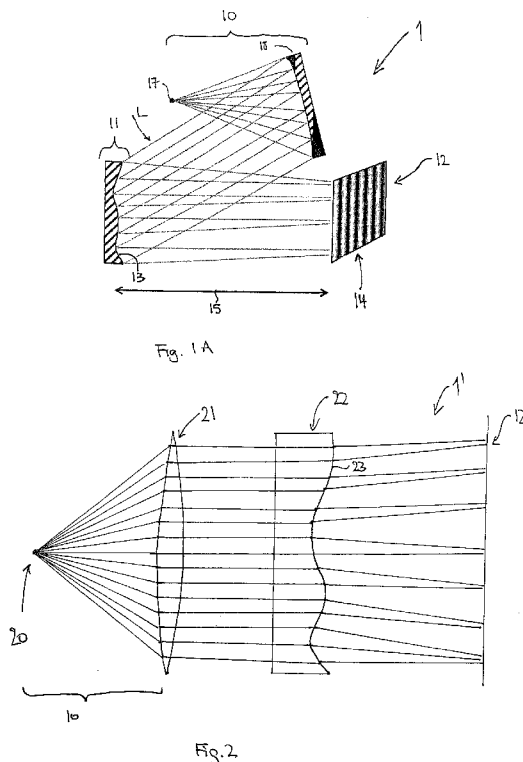
(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
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, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: APPARATUS AND METHOD FOR MEASURING AN ARTICLE USING FREEFORM OPTICS

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR VERMESSUNG EINES GEGENSTANDES MITTELS
FREIFORMOPTIKEN



(57) Abstract: The object of the invention is an apparatus for measuring distances and/or spatial coordinates of at least one article, wherein the apparatus has an illumination unit (10), a projection optics for shaping light (L) onto an article (29) arranged in a measurement field (19), a recording apparatus (24) for producing an image of the article, and an evaluation unit (25) for evaluating the produced image and for determining the distances. According to the invention, the illumination optics comprises at least one freeform optics (11; 22), which is configured such that light emitted by the illumination unit is steered into the object plane (12) using at least one freeform surface of the freeform optics to form a spatially structured light pattern (14).

(57) Zusammenfassung: Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen Koordinaten mindestens eines Gegenstandes, wobei die Vorrichtung eine Beleuchtungseinheit (10), eine Projektionsoptik zum Formen von Licht (L) auf einen in einem Messfeld (19) angeordneten Gegenstand (29) geeignet ist, einer Aufnahmevorrichtung (24) zur Erzeugung eines Bildes des Gegenstandes und einer Auswerteeinheit (25) zur Auswertung des erzeugten Bildes und zur Bestimmung der Entfernungen. Erfindungsgemäß umfasst die Beleuchtungsoptik mindestens eine Freiformoptik (11; 22), welche derart ausgebildet ist, dass von der Beleuchtungseinheit emittiertes Licht mittels mindestens einer Freiformoberfläche der Freiformoptik zu einem räumlich strukturierten Lichtmuster (14) in die Objektebene (12) gelenkt wird.



MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Vorrichtung und Verfahren zur Vermessung eines
Gegenstandes

5 Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen Koordinaten mindestens eines Gegenstands nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren nach dem Anspruch 10.

10 Zur Beobachtung und zur Vermessung von Objekten bzw. Gegenständen spielt bei aktiver Beleuchtung des Gegenstands die Intensitätsverteilung der Beleuchtung eine wichtige Rolle.

15 Bei vielen Anwendungen ist dabei die Erzeugung einer spezifischen Intensitätsverteilung im Messvolumen (nachfolgend auch "Objektebene" oder "Zielebene" genannt) von zentraler Bedeutung. Neben einer möglichst homogenen Intensitätsverteilung, wie sie für viele
20 Beobachtungs-Anwendungen (z.B. Mikroskopie, oder das

Monitoring in der Produktion) wichtig ist, ist oft auch die Forderung nach einer spezifischen Intensitätsverteilung von großem Interesse. Hierbei spielen definierte räumlich niederfrequente Intensitätsverteilungen insbesondere in der Beleuchtungstechnik (Straßenbeleuchtung, Autoscheinwerfer; Stichwort "passive Beleuchtung") eine wichtige Rolle.

Einen Schritt weiter geht die strukturierte Beleuchtung, die häufig zur aktiven Objektbeleuchtung in der Messtechnik zur Formvermessung eingesetzt wird (z.B. Lichtschnitt, Streifenprojektion oder stochastische Muster).

Homogene Beleuchtung und spezifische Intensitätsverteilung mit niederfrequenter Intensitätsänderung (d.h. kleine relative Ortsfrequenz bzw. die Hüllkurve einer Intensitätsverteilung mit nur vereinzelten lokalen Minima und Maxima, hauptsächlich für passive Beleuchtungsanwendungen) können auf verschiedene Weisen realisiert werden. Neben den Möglichkeiten der klassischen Optik mit Hilfe sphärischer und asphärischer Linsen und Spiegel kommen auch GRIN (gradient index)-Linsen oder Freiformoptiken zum Einsatz. Ein weiterer Ansatz ist der Einsatz von diffraktiven Elementen zur Strahlformung.

Dahingegen wird die strukturierte, d.h. aktive Beleuchtung von Objekten (und damit Intensitätsverteilung mit hoher relativer Ortsfrequenz, d.h. das gehäufte Auftreten von Minima und Maxima in der durch die Hüllkurve begrenzten Intensitätsverteilung oder starke Intensitätsgradienten an Kanten) im Normalfall mit Projektionssystemen gelöst. Dazu wird ein strukturgebendes Element, z.B. ein Dia, eine Chrommaske oder ein räumlicher Lichtmodulator, mit einer Be-

leuchtungseinheit beleuchtet und mittels einer Projektionsoptik in die Objektebene abgebildet. Die Beleuchtungseinheit kann platzsparend mit dem strukturgebenden Element kombiniert werden, wenn ein selbstleuchtendes Mikrodisplay, z.B. ein OLED-Mikrodisplay, eingesetzt wird. Eine derartige Vorrichtung ist aus der DE 103 44 051 A1 bekannt.

Das strukturgebende Element kann entweder ein statisches strukturgebendes Element, welches eine definierte Intensitätsverteilung erzeugt, oder ein adaptives strukturgebendes Element, welches eine Intensitätsverteilung abhängig von der Ansteuerung des Elements erzeugt, sein. Das Element kann nach verschiedenen optischen Prinzipien arbeiten. Am weitesten verbreiten sind Prinzipien, bei denen die Intensitätsmodulation (z.B. Graustufen) durch Absorption (z.B. Dias, Chrommasken, Flüssigkristalldisplays mit aufgetragenen Polarisatoren) oder durch Polarisationsmodulation mit anschließender polarisationsabhängiger räumlicher Energieaufteilung (z.B. LCoS-Displays mit anschließendem polarisierenden Strahlteiler) oder Strahlablenkung mit Abblendung der abgelenkten Strahlung (kippende Mikrospiegelarrays, z.B. DLP-Chip der Firma Texas Instruments) in Verbindung mit Zeit-Multiplexing erreicht wird. Dies wird in der DE 196 33 686 C2 näher erläutert. Bei diesen Prinzipien entsteht zwischen Bestrahlung des strukturgebenden Elements und der Objektebene ein Energieverlust entsprechend der Modulation des strukturgebenden Elements.

Eine effizientere Methode ist der Einsatz von Phasemodulatoren in Kombination mit dem sogenannten generalisierten Phasenkontrast zur Erzeugung einer Intensitätsmodulation in der Zielebene, wie sie aus der US

6,011,874 bekannt ist.

Alternativ kann statt des Projektionssystems ein
diffraktives Element oder auch holografisches Gitter
5 beleuchtet werden, welches in der Objektebene (mit
oder ohne zusätzliche Optik) die gewünschte Intensi-
tätsverteilung in der Objektebene erzeugt. Der Nach-
teil derartiger Systeme besteht hauptsächlich in der
Wellenlängenabhängigkeit.

10 Diffraktive Elemente bzw. holografische Gitter sind
aufgrund der wellenlängenabhängigen Beugung für eine
Wellenlänge optimiert. Der Einsatz breitbandiger
Lichtquellen führt zu einer chromatischen
15 "Verwaschung". Der Einsatz in stark abweichenden Wel-
lenlängenbereichen führt zu einer starken Änderung
der Lichtformungswirkung. Derartige Projektionsopti-
ken sowie auf Linsenoptiken basierende Projektionsop-
tiken weisen trotz Korrektur immer zu einem gewissen
20 Grad chromatische Aberrationen auf.

Sowohl Modulatoren als auch Projektionsoptiken sind
meist für den sichtbaren Spektralbereich spezifi-
ziert. Außerhalb des sichtbaren Spektralbereichs,
25 d.h. im ultravioletten oder infraroten Spektralbe-
reich, sind nur bedingt Modulatoren und Projektions-
optiken verfügbar, da sie extrem aufwändig in der
Herstellung sind. Dies liegt hauptsächlich an der re-
duzierten Materialauswahl zur Herstellung der opti-
schen Komponenten und Modulatoren sowie an einer re-
30 duzierten Lichtquellenauswahl.

Zum anderen müssen strukturgebende Elemente, die auf
dem Prinzip der Absorption oder polarisations- oder
35 mikrospiegelbasierter Energieaufteilung basieren, mit
einer Lichtquelle mit hoher Leuchtdichte beleuchtet

werden. Sowohl die Lichtquelle mit hoher Leuchtdichte als auch die Absorption am strukturgebenden Element, bzw. die Abblendung nach Strahlumlenkung sind damit Hitzequellen, welche für manche Anwendungen ein Problem darstellen.

Holografische Gitter sind aus Effizienzgründen meist als Phasengitter in Transmission oder Reflexion ausgelegt. Obwohl diese Gitter in der Theorie eine bis zu 100%ige Energieeffizienz besitzen können, zeigen sich in der Realität aufgrund technologischer Probleme zusätzliche Beugungsordnungen, welches neben ver-
ringelter Effizienz zusätzlich zu einer Verfälschung der Zielbeleuchtung führt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es von daher, bekannte Vorrichtungen zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen Koordinaten mindestens eines Gegenstands derart auszubilden, dass diese kompakt und mit hoher Energieeffizienz hergestellt werden können.

Die Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung nach den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren nach den Merkmalen des Anspruchs 10.

Die hier vorgestellte Erfindung besteht also aus zwei Grundelementen: einer Projektionsoptik, welche eine Freiform-basierte Optik (im Folgenden "Freiformoptik" genannt) zur Strahlformung aufweist, und einer Beleuchtungseinheit.

Mit Hilfe der Beleuchtungseinheit wird die Freiformoptik beleuchtet. Die Freiformoptik "formt" das einfallende Licht. Die Freiformoptik ist entsprechend einer gewünschten Zielintensitätsverteilung berech-

net, so dass durch Strahlformung in einer definierten Entfernung die spezifische Intensitätsverteilung zur strukturierten Beleuchtung der Objektebene entsteht und das räumlich strukturierte Lichtmuster innerhalb
5 eines Messfeldes in der Objektebene vorzugsweise eine mittlere bis hohe relative Ortsfrequenz besitzt, d.h. eine durch die Hüllkurve der Intensitätsverteilung begrenzte räumliche Variation der Intensitätsverteilung.

10 In anderen Worten bedeutet dies, dass die Freiformoptik eine Freiformfläche aufweist, welche gemäß dem Stand der Technik bezüglich einer Normalen der Oberfläche nicht durch eine rotationssymmetrische Funktion darstellbar ist. Zudem handelt es sich bei der
15 Oberfläche um eine statische, vorzugsweise nicht-diffraktive Oberfläche, dass heißt diese ist nach der gewünschten Zielintensitätsverteilung einmalig gefertigt.

20 Die Freiformoptik weist mindestens eine reflektierende und/oder transmittierende Freiformoberfläche auf, welche derart ausgebildet ist, dass von der Beleuchtungseinheit emittiertes Licht mittels der Freiform-
25 oberflächen auf einem in der Objektebene befindlichen Messfeld zu einem räumlich strukturierten Lichtmuster geformt wird. Die Größe des Messfeldes definiert die durch die Vorrichtung vermessbare Fläche.

30 Das Messfeld hat innerhalb der Objektebene eine laterale und vertikale Ausdehnung und erstreckt sich auch entlang der optischen Achse, so dass auch von einem Messvolumen gesprochen wird. Nachfolgend wird zwar weiterhin von einem Messfeld gesprochen, dies dient
35 jedoch lediglich der vereinfachten Beschreibung. Es ist zu beachten, dass das hier verwendete Messfeld

ein dreidimensionales Messvolumen ist.

Diese Strahlformung folgt den Prinzipien der Strahlenoptik. Die Freiformoptik kann dabei aus einem oder mehreren optischen Elementen bestehen, wobei mindestens eine Fläche eine Freiformoberfläche mit optischer Oberflächenqualität ist, die die spezifische Intensitätsverteilung maßgeblich beeinflusst.

Diese Anordnung entspricht nicht dem Prinzip der klassischen abbildenden Optik, bei der ein strukturgebendes Element durch ein Projektionsobjektiv in die Objektebene abgebildet wird, sondern die Freiformoberfläche formt die einfallende Strahlung durch Freiraumausbreitung, so dass kein zusätzliches Projektionsobjektiv erforderlich ist.

Dadurch, dass die Projektionsoptik im einfachsten Fall lediglich eine Freiformoptik, d.h. genau ein Element zur Strahlformung umfasst, kann das gesamte optische System bzw. die gesamte optische Vorrichtung kompakter realisiert werden. Weitere Linsensysteme oder strukturgebende Elemente, wie beispielsweise Dias, LCDs oder OLED-Displays sind nicht vonnöten.

Da erfindungsgemäß lediglich ein einziges Element zur Strahlformung vonnöten ist, ist die Gesamtvorrichtung zur Vermessung von Entfernungen besonders günstig und einfach herstellbar.

Im Gegensatz zu bisher bekannten Systemen, die auf absorptions- oder polarisations- oder mikroskopspiegelbasierter Energieaufteilung basieren, wird erfindungsgemäß vorzugsweise das komplette auf das Strahlformungselement fallende Licht umverteilt und zum strukturierten Lichtmuster geformt. Dies bedeutet, dass

nahezu 100% des auf die Freiformoptik auftreffenden Lichts im Messfeld der Objektebene zur Vermessung des zu vermessenden Gegenstands beitragen. Dabei ist es vorteilhaft, wenn der Abstand zwischen der objektseitigen Oberfläche der Freiformoptik und der Objektebene, d.h. dem Abstand zum zu vermessenden Gegenstand, vor dem Herstellen der Freiformoptik bekannt ist.

Die Effizienz der Vorrichtung ist gegenüber Vorrichtungen nach dem Stand der Technik in zweierlei Hinsicht erhöht. Aufgrund der verbesserten Lichtausbeute kann bei gleichbleibender Größe des Messfeldes in der Beleuchtungseinheit eine kleinere bzw. schwächere Lichtquelle verwendet werden. Analog hierzu können bei gleichbleibender Lichtleistung der Lichtquelle auch größere Lichtleistungen in die Objektebene projiziert werden. Zudem wird das einfallende Licht durch Strahlablenkung geformt, so dass die Vorrichtung keine Komponenten aufweist, welche besonderen thermischen Belastungen ausgesetzt sind, d.h. die thermische Gesamtbelastung der Vorrichtung verringert sich.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Wellenlängenunabhängigkeit der Strahlformung. Da die Strahlformung allein durch die Freiformoptik gestaltet wird, können Lichtquellen verschiedener Wellenlängen sowie Wellenlängenbereiche, in denen zum jetzigen Zeitpunkt keine geeigneten Projektionssysteme zur Verfügung stehen, verwendet werden. Dies ist insbesondere bei der Verwendung von Freiformspiegeln der Fall, welche eine reflektierende Freiformoberfläche aufweisen.

Durch Kombination mit dynamischen Elementen kann die Intensitätsverteilung in der Objektebene zusätzlich

verändert werden, falls dies für die Anwendung notwendig ist. Mögliche dynamische Elemente sind beispielsweise elektronisch oder manuell steuerbare Stellelemente für Translation oder Rotation der Freiformoberfläche, die die Positionierung und/oder Ausrichtung von Beleuchtungseinheit, Freiformoptik und Objektebene zueinander oder - bei Freiformoptiken, die aus mehreren Elementen bestehen - die Positionierung oder Ausrichtung der Freiformoptik-Elemente zueinander verändern.

Neben der Freiformoptik und der Beleuchtungseinheit kann die Erfindung ferner eine Aufnahmevorrichtung zur Erzeugung eines Bildes eines abzubildenden Gegenstandes und eine Auswerteeinheit zur Auswertung des erzeugten Bildes aufweisen.

Die Vorrichtung wird bevorzugt in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen Koordinaten verwendet. Hierbei wird Licht mittels einer Beleuchtungsvorrichtung emittiert, wobei das Licht bereits eine Vorstruktur besitzen kann oder unstrukturiert, d.h. im Wesentlichen mit einer ausschließlich niederfrequenten Intensitätsverteilung vorliegt. Das Licht fällt auf eine Freiformoberfläche der Freiformoptik, wobei die Freiformoberfläche derart ausgebildet ist, dass auf sie auffallendes Licht in eine Objektebene umgelenkt wird, wobei die Freiformoptik weiterhin derart ausgebildet ist, dass in der Objektebene ein strukturiertes Lichtmuster durch Strahlformung geformt wird. Dieses strukturierte Lichtmuster fällt auf ein sich in der Objektebene befindliches Messfeld und wird mit Hilfe einer Aufnahmevorrichtung in Form mindestens eines Bildes erfasst. Das Bild einer Oberfläche des mit dem strukturierten Lichtmuster beleuchteten Ge-

genstands wird mit Hilfe einer Auswerteeinheit analysiert und anschließend die Entfernung bzw. die räumlichen Koordinaten des Gegenstands bzw. deren zeitliche Änderung bestimmt. Geeignete Verfahren zur Auswertung der aufgenommenen Bilder können beispielsweise der Druckschrift DE 103 44 051 A1 entnommen werden. So können beispielsweise bei der vorliegenden Erfindung mit aktiver Beleuchtung Triangulationsverfahren verwendet werden, um Entfernungen und/oder räumliche Koordinaten zu bestimmen.

Weitere Ausführungsformen der Vorrichtung sowie des Verfahrens sind in den untergeordneten Ansprüchen aufgeführt.

In einer ersten Ausführungsform umfasst die Projektionsoptik ausschließlich Freiformoptiken. Weitere Modulatoren oder Projektionsoptiken sind nicht vorhanden. Hierbei kann es sich sowohl um mindestens eine Freiformoptik als auch mehrere miteinander kombinierte Freiformoptiken handeln. Als Freiformoptiken kommen entweder reflektierende oder transmittierende Freiformoptiken infrage. So kann beispielsweise eine reflektierende Freiformoptik in Form eines Freiformspiegels ausgebildet werden. Die Oberflächen der Freiformoptik, die so genannten Freiformoberflächen, werden dabei derart gefertigt, dass das von der Beleuchtungsquelle einfallende Licht in einem Messfeld der Objektebene zu einem strukturierten Lichtmuster geformt wird. Unter dem strukturierten Lichtmuster ist hierbei eine variierende Intensitätsverteilung innerhalb der Objektebene zu verstehen.

Eine weitere Möglichkeit einer Freiformoptik ist eine Freiformlinse, deren Oberfläche derart beschaffen ist, dass auf die Linse auftreffendes Licht in einer

Objektebene zu einem strukturierten Lichtmuster geformt wird. Auch hier wird das Licht derart abgelenkt, dass nahezu 100% des auf die Freifformoberflächen der Freifformoptik einfallenden Lichts auf die
5 Objektebene projiziert werden kann. Dies verbessert den Wirkungsgrad der Vorrichtung. Alternativ kann ein Freifformspiegel mit einer reflektierenden Freifformoberfläche verwendet werden.

10 In einer weiteren Ausführungsform sind die Freifformoptiken derart ausgebildet, dass diesen die alleinige Strahlformung zukommt. Dies bedeutet, dass zwischen der Beleuchtungseinheit und der Freifformoptik keinerlei Strukturierung des Lichts stattfindet und die
15 alleinige Strukturierung des Lichts mit Hilfe der Freifformoptik vorgenommen wird.

Selbstverständlich ist es auch möglich, bereits vorstrukturiertes Licht auf die Freifformoptik zu strahlen, so dass die Strukturierung des Lichts vor dem
20 Auftreffen auf die Freifformoptik mit der Strukturierung des Lichts durch die Freifformoptik zu einem überlagerten strukturierten Lichtmuster führt, so dass die Strukturierung in der Objektebene von der
25 durch die Beleuchtungseinheit vorgegeben Strukturierung abweicht.

In einer weiteren Ausführungsform ist die Freifformoptik derart ausgebildet, dass das räumlich strukturierte Lichtmuster ein Streifenmuster ist. Streifenmuster sind bei Vorrichtungen zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen Koordinaten hinlänglich bekannt.

35 Mit Hilfe der Freifformoptik kann das strukturierte Lichtmuster als spezifische Intensitätsverteilung

mittlerer oder hoher Ortsfrequenz in der Objektebene erzeugt werden. Unter mittlerer oder hoher Ortsfrequenz ist hierbei eine mittlere bis hohe Anzahl von Streifen bzw. anderen durch die Freiformoptik geformten geometrischen Figuren oder statistische Muster zu verstehen, welche das Messfeld ausleuchten. Ortsfrequenz ist also als Funktion der Größe des Messfeldes zu verstehen. Auf das Messfeld einfallendes Licht wird dabei derart strukturiert, dass das strukturierte Lichtmuster eine mittlere Ortsfrequenz mit mindestens 15 Streifen oder mindestens 25 Streifen besitzt, wobei die Anzahl der Streifen sich auf die Anzahl der Streifen im Messfeld bezieht. Alternativ ist die Freiformoptik derart gestaltet, dass eine hohe Ortsfrequenz von mehr als 50 Streifen das Messfeld ausleuchtet. Hierdurch wird die Auswertung vereinfacht.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Vorrichtung eine Steuervorrichtung, mit welcher die Form oder Lage des strukturierten Lichtmusters steuerbar ist. Im Wesentlichen können durch Ansteuern eines oder mehrerer Aktoren, welche mit der Beleuchtungseinheit, der Freiformoptik oder mit dem abzubildenden Gegenstand verbunden ist, eine Bewegung der Beleuchtungseinheit, Freiformoptik bzw. des Gegenstands bewirkt werden. Hierbei können die verschiedenen Einheiten der Vorrichtung zum einen lateral, d.h. senkrecht zur optischen Achse eines Strahlengangs verschoben werden, in Richtung der optischen Achse verschoben werden, oder gegenüber der optischen Achse oder um die optische Achse verdreht werden. Auf diese Weise ist sowohl die Form als auch die Lage des strukturierten Lichtmusters auf dem abzubildenden Objekt bzw. Gegenstand steuerbar.

Bevorzugt wird die Koordinierung der Bewegungen der Aktoren mittels eines von der Steuervorrichtung umfassten Mikroprozessors durchgeführt.

5 Als Aufnahmevorrichtung können beispielsweise eine CCD-Kamera in Form eines CCD-Chips, eine CMOS-Kamera gegebenenfalls in Form eines CMOS-Chips oder sonstige Bildaufnahmegeräte verwendet werden. Die Aufnahmevorrichtung umfasst gegebenenfalls eine Optik
10 zur Abbildung auf einen der vorgenannten Chips. Zur Durchführung und Bestimmung der Entfernung ist vorteilhaft, wenn die Auswerteeinheit einen Mikroprozessor aufweist.

15 Als Lichtquelle der Beleuchtungseinheit kommen beispielsweise LEDs, Laser, Gaslampen oder andere Beleuchtungsquellen infrage. Dabei ist die Lichtquelle vorzugsweise vor einer Kondensorlinse oder einem Reflektor bzw. Spiegel angeordnet, so dass eine gegebenenfalls als Punktquelle ausgebildete Lichtquelle ei-
20 nen großen Bereich der Freiformoptik homogen bestrahlt.

Hinsichtlich des Verfahrens wird in einer Variante
25 des Verfahrens das strukturierte, mittels der Freiformoptik erzeugte Lichtmuster zeitlich verändert, beispielsweise durch Betätigung eines der vorab beschriebenen Aktoren. Dabei werden zeitlich aufeinanderfolgende, jeweils verschiedene strukturierte
30 Lichtmuster erzeugt, wobei diese vorzugsweise eine zueinander phasenverschobene, vorzugsweise sinusförmige Intensitätsverteilung aufweisen.

Dabei kann das strukturierte Lichtmuster in der Objektebene mindestens zwei Lichtpunkte und/oder zwei
35 Lichtlinien, vorzugsweise eine Lichtgerade, und/oder

ein zweidimensionales Lichtmuster in Form sich kreuzender Lichtlinien, umfassen. Für den Fall, dass das strukturierte Lichtmuster in der Objektebene geometrische Merkmale (Marken) aufweist, d.h., dass die Freiformoberflächen der Freiformoptik derart ausgebildet sind, dass im Messfeld der Objektebene geometrische Merkmale (Marken), wie beispielsweise Lichtkreuze, Kreise oder Gitter abgebildet werden, können die räumlichen Koordinaten des Gegenstands anschließend durch räumliche Korrelationsverfahren zwischen zwei und mehr Kameras unter Nutzung der Marken bestimmt werden. Korrelationsbasierte Auswerteverfahren sind im Stand der Technik hinreichend bekannt.

In einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens wird das strukturierte Lichtmuster durch ein stochastisches Muster beschrieben, welches durch die strahlformende Freiformfläche geformt wird. Anschließend können die räumlichen Koordinaten aus dem stochastischen Muster mittels Korrelationsverfahren bestimmt werden.

Die Vorrichtung sowie das Verfahren eignen sich für Messanordnungen im Rahmen einer Qualitätskontrolle, zur Digitalisierung von Prototypen, zur Aufnahme von Oberflächentopografien von Gegenständen und/oder zur Bestimmung von dreidimensionalen Formen und/oder Oberflächenrauigkeiten.

Derartige Anwendungen können beispielsweise im Maschinenbau, im Automobilbau, in der Keramikindustrie, in der Schuhindustrie, in der Schmuckindustrie, in der Dentaltechnik, in der Medizin oder der Orthopädie zum Einsatz kommen.

Nachfolgend soll die Erfindung anhand einiger Ausführungsbeispiele genauer erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1A

5 und 1B schematische Darstellungen einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit dem durch die Vorrichtung erzeugten strukturierten Lichtmuster;

10 Fig. 2 weitere Variante einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 3 weitere Variante einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Steuervorrichtung zum Bewegen der Beleuchtungseinheit, der Freiformoptik oder des Gegenstands.
15

Die Fig. 1A zeigt eine Vorrichtung 1, welche eine Beleuchtungseinheit 10, eine Projektionsoptik in Form einer Freiformoptik 11 mit einer optischen Freiformoberfläche 13 umfasst, wobei das durch die Beleuchtungseinheit 10 emittierte Licht L mit Hilfe der Freiformoptik 11 in einer Objektebene 12 zu einem strukturierten Lichtmuster 14 geformt wird. Die Objektebene 12 befindet sich in einem Abstand 15 von der Freiformoptik. Bei der Herstellung der Freiformoberfläche 13 wurde darauf abgezielt, dass das in der Fig. 1B dargestellte Lichtmuster 14 die gewünschte Lichtintensitätsverteilung in der Objektebene aufweist.
20
25
30

Das mit Hilfe der Freiformoptik 11 geformte Lichtmuster 14 ist ein Streifenmuster aus einzelnen Lichtstreifen 16, welche in der Fig. 1B als dunkel markierte Bereiche dargestellt sind. Die Anzahl der Streifen 16 wird derart gewählt, dass ein Messfeld
35

mit mindestens fünfzehn Lichtstreifen beleuchtet wird, so dass zumindest eine mittlere Ortsfrequenz gegeben ist. Alternativ kann der zu vermessende Gegenstand mit einer höheren Ortsfrequenz beleuchtet werden.

Das in der Fig. 1B dargestellte strukturierte Lichtmuster 14 wird allein durch die optische Freiformoberfläche 13 der Freiformoptik 11 geformt, wobei die Freiformoberfläche auch dergestalt ausgebildet sein kann, dass das sich ergebende strukturierte Lichtmuster ein unregelmäßiges Lichtmuster mit unterschiedlichen Formen, wie beispielsweise Lichtlinien, Lichtpunkten oder Lichtkreuzen ist.

Das Streifenmuster bietet sich insbesondere dann an, wenn es um die Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen Koordinaten mindestens eines Gegenstands geht, da für ein derartiges Streifenmuster besonders leistungsfähige Algorithmen zum Erfassen der räumlichen Koordinaten existieren.

Die Beleuchtung der Freiformoptik erfolgt mittels der Beleuchtungseinheit 10, welche eine Lichtquelle 17 und einen Reflektor 18 umfasst, welcher z.B. auch durch eine oder mehrere Linsen ersetzt werden kann. Die Beleuchtungseinheit kann jedoch ebenfalls nur die Lichtquelle 17 umfassen, welche die Freiformoberfläche direkt bestrahlt. Wie an dem Gang der Lichtstrahlen L in der Fig. 1A zu erkennen ist, werden die durch die Lichtquelle 17 emittierten Lichtstrahlen gegebenenfalls planparallel, divergierend oder konvergierend auf die Freiformoberfläche 13 der Freiformoptik 11 gelenkt. Aufgrund der Form der Freiformoberfläche kommt es zu der durch den weiteren Verlauf der Lichtstrahlen L angedeuteten Ausbildung eines

Streifenmusters, wie in der Fig. 1B dargestellt.

In der Fig. 1A handelt es sich bei der Freiformoptik 11 um einen Freiformspiegel. Wird als Freiformoptik ein Freiformspiegel verwendet, ist dieser nahezu wellenlängenunabhängig in seiner Strahlformungswirkung. Die Freiformoberfläche 13 besitzt eine optische Verarbeitungsqualität, d.h., die Freiformoberfläche 13 weist einen hohen Reflexionsgrad auf. Insbesondere besitzt die Freiformoberfläche 13 beispielsweise für sich genommen eine glatte Oberfläche mit geringer Rauigkeit, so dass eine Streuung des Lichts aufgrund von Oberflächenrauigkeiten der Freiformoptik 11 vernachlässigbar ist. Insgesamt bildet der Freiformspiegel das einzige strukturgebende Element der Vorrichtung 1, wobei der Freiformspiegel das entsprechende strukturierte Lichtmuster 16 formt und auf ein Messfeld 19 in der Objektebene 12 richtet. Die Freiformoberfläche 13 des Freiformspiegels kann in dem Bereich, welcher eintreffendes Licht in das Messfeld 19 der Objektebene formt, als eine stetig differenzierbare Funktion beschrieben werden.

In der Fig. 2 ist eine alternative Variante der Vorrichtung 1' dargestellt, bei welcher neben der Beleuchtungseinheit 10, welche eine als Halogenlampe ausgebildete Lichtquelle 20 und eine im Abstand zur Lichtquelle 20 angeordnete bündelnde Linse 21 umfasst, ferner eine Freiformoptik 22 vorhanden, welche ebenfalls ein strukturiertes Lichtmuster 16 in der Objektebene 12 projiziert.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Fig. 2 handelt es sich bei der Freiformoptik 22 um eine Freiformlinse, durch welche das durch die Lichtquelle 20 emittierte und durch die Linse 21 gebündelte Licht in die Objektebene 12 abgelenkt wird, so dass die auf-

grund der Freiformoberfläche 23 entstehende Strukturierung als ein strukturiertes Lichtmuster 16, wie in der Fig. 1B gezeigt, geformt wird.

5 Grundsätzlich ist eine Konzipierung der Freiformoptik als Kombination aus mehreren strukturgebenden Elementen, wie Freiformspiegeln, Freiformlinsen, diffraktiven optischen Elementen oder räumlichen Lichtmodulatoren möglich, wobei mindestens eine der
10 Flächen eine Freiformfläche ist, die die spezifische Intensitätsverteilung des Lichts maßgeblich beeinflusst. Die Strahlformung an den Freiformoberflächen folgt den Prinzipien der Strahlenoptik und wird durch das Reflexionsgesetz im Falle des Freiformspiegels
15 oder des Brechungsgesetzes im Falle der Freiformlinsen beschrieben.

In der Fig. 3 wird eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung 100 dargestellt. Wie bereits zu den Ausführungsbeispielen der Fign. 1A und 2 erläutert, umfasst
20 die Vorrichtung 100 ebenfalls eine Beleuchtungseinheit 10 mit einer Lichtquelle 20 in Form eines Lasers und einer bündelnden Linse 21, welche das von der Lichtquelle 20 emittierte Licht auf eine Freiformoptik 22, wie in der Fig. 2 beschrieben, strahlt, wobei
25 die Freiformoberfläche der Freiformoptik 22 ein Streifenmuster in einer Objektebene formt und innerhalb eines durch das strukturierte Lichtmuster beleuchteten Messfeldes in der Objektebene einen in dem
30 Messfeld angeordneten Gegenstand 29 mit strukturiertem Licht beaufschlagt. Selbstverständlich kann die Freiformoptik auch ein Freiformspiegel, wie in der Fig. 1 gezeigt, sein.

35 Neben den bereits diskutierten Komponenten weist die Vorrichtung 100 ferner eine Aufnahmevorrichtung 24

auf, welche mit Hilfe eines CCD-Chips Bilder des strukturierten Lichtmusters auf einer Oberfläche des sich im Messfeld befindlichen Gegenstands 29 aufnimmt und diese Bilder an die Auswerteeinheit 25 übermittelt.

In der Auswerteeinheit befindet sich ein Mikroprozessor 26, welcher mit Hilfe im Stande der Technik bekannte Algorithmen die Entfernungen der einzelnen Oberflächenabschnitte des zu vermessenden Gegenstands 23 von beispielsweise der Freiformoptik ermittelt und in Form eines vorzugsweise weiterverarbeitbaren Datenformats einem Benutzer zur Verfügung stellt bzw. das weiterverarbeitbare Datenformat auf einem internen, nicht eingezeichneten Speicher der Auswerteeinheit vorhält.

Zusätzlich weist die Vorrichtung 100 eine Steuervorrichtung 27 auf, welche mit Aktoren 30, 31 und 32 verbunden ist, wobei die Ansteuerung der Aktoren 30, 31 und 32 mittels eines Mikroprozessors 28 gesteuert wird. Alternativ zu Mikroprozessoren können auch programmierbare Mikrocontroller, andere elektronische Steuervorrichtungen oder manuelle Verstellvorrichtungen verwendet werden. Zudem ist die Steuervorrichtung 27 derart mit der Auswerteeinheit 25 verbunden, dass durch die Auswerteeinheit 25 aufgenommene Bilder ausgewertet werden und Informationen bezüglich der Lage des strukturierten Lichtmusters auf der Oberfläche des aufzunehmenden Gegenstands 22 an die Steuervorrichtung übermittelbar sind.

Um eine zeitliche Variation der strukturierten Lichtmuster auf der im Messfeld der Objektebene befindlichen Oberfläche des Gegenstands 29 zu bewirken, kann die Steuervorrichtung 27 einen oder mehrere der

Aktoren 30, 31 oder 32 ansteuern, wobei bevorzugt lediglich die Aktoren 30 und/oder 31 angesteuert werden, welche jeweils mit der Beleuchtungseinheit 10 bzw. Freiformoptik 22 verbunden sind. Die zeitliche Variation des strukturierten Lichtmusters kann aufgrund einer in Y-Richtung gerichteten Bewegung der Linse 21 oder der Freiformoptik 22 vorgenommen werden. Auch Bewegungen in Richtung der optischen Achse, d.h. der X-Achse bzw. in Richtung der Z-Achse sind mittels der Aktoren 30 und 31 einstellbar. Alternativ kann auch der Gegenstand 29 mittels des Aktors 32 verschoben bzw. rotiert werden.

Eine weitere Variante ist eine Verdrehung der Beleuchtungseinheit 10 um die Y- oder Z-Achse bzw. eine Verdrehung der Freiformoptik 22 um die Y- oder Z-Achse. Auch hierdurch können zeitlich veränderliche Intensitätsverteilungen auf einer Oberfläche des Gegenstands 29 erzeugt werden.

Bei entsprechender Ansteuerung weisen zeitlich aufeinander folgende Lichtmuster, vorzugsweise Streifenmuster, eine zueinander phasenverschobene, vorzugsweise sinusförmige Intensitätsverteilung auf.

Obgleich in den Ausführungsbeispielen lediglich ein Streifenmuster als strukturiertes Lichtmuster dargestellt ist, so kann das strukturierte Lichtmuster auch in Form konzentrischer Lichtkreise oder andere unregelmäßiger Formen vorliegen. Insbesondere können die Freiformoberflächen derart beschaffen sein, dass das strukturierte Lichtmuster geometrische Merkmale (d.h. Marken), wie beispielsweise Lichtkreuze oder andere geometrische Figuren umfasst, so dass die räumlichen Koordinaten des zu vermessenden Gegenstands 29 innerhalb des Messfeldes durch Korrelation

bestimmt werden können.

5 Eine weitere Möglichkeit ist es, neben dem durch die
Freiformoberflächen erzeugten strukturierten Licht-
muster ein stochastisches Muster auf der Oberfläche
des zu vermessenden Gegenstands 29 zu erzeugen. Durch
eine zeitliche Variation des Musters, beispielsweise
10 durch einen Aktor, kann das Muster variiert werden,
wodurch die räumlichen Koordinaten des zu vermessen-
den Gegenstands 22 mittels Korrelationsverfahren be-
stimmt werden können.

15 Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungs-
gemäßen Verfahren eignen sich insbesondere zum Ver-
messen von Abständen und zum Erfassen von Formen ei-
nes zu vermessenden Gegenstands. Hierdurch werden An-
wendungen im Bereich der Qualitätskontrolle, bei der
Digitalisierung von Prototypen, wie beispielsweise
20 Prototypen, welche im Rahmen des Rapid-Prototyping
hergestellt wurden, oder zur Aufnahme von beliebigen
Oberflächentopografien oder Oberflächenrauigkeiten
geeignet.

Patentansprüche

5

1. Vorrichtung (100) zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen Koordinaten mindestens eines Gegenstandes aufweisend:
eine Beleuchtungseinheit (10);
10 eine Projektionsoptik, welche derart ausgebildet ist, dass durch die Beleuchtungseinheit emittiertes Licht (L) auf ein in einer Objektebene (12) der Projektionsoptik befindliches Messfeld (19) projiziert,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Projektionsoptik mindestens eine Freiformoptik (11; 22) umfasst, welche derart ausgebildet ist, dass von der Beleuchtungseinheit emittiertes Licht mittels mindestens einer Freiformoberfläche (13) der Freiformoptik zu einem
20 räumlich strukturierten Lichtmuster (14) in der Objektebene (12) geformt wird.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektionsoptik ausschließlich Freiformoptiken (11; 22) umfasst.
25
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Freiformoberfläche eine optische Oberflächenqualität aufweist, wobei die Freiformoberfläche vorzugsweise keine rotationssymmetrische Form besitzt.
30
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Frei-

formoptik (11; 22) einen Freiformspiegel (11) oder eine Freiformlinse (22) umfasst.

- 5 5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Freiformoptik (11; 22) derart ausgebildet ist, dass das räumlich strukturierte Lichtmuster (14) ein Streifenmuster ist.
- 10 6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Freiformoptik (11; 22) derart ausgebildet ist, dass das in der Objektebene befindliche Messfeld (19) mit mindestens 15 Streifen beleuchtet wird.
- 15 7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Freiformoptik (11; 22) derart ausgebildet ist, dass das räumlich strukturierte Lichtmuster (14) ein stochastisches Muster ist.
- 20 8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsvorrichtung (10) unstrukturiertes Licht emittiert und ausschließlich die mindestens eine Freiformoptik (11; 22) eine Strukturierung des Lichts zum strukturierten Lichtmuster (14) in der Objektebene (12) bewirkt.
- 25 9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuervorrichtung (27) vorhanden ist, mit welcher die Form oder Lage des strukturierten Lichtmusters steuerbar ist, wobei die Steuervorrichtung
- 30 vorzugsweise einen Mikroprozessor (28) umfasst.
10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Auf-

nahmevorrichtung (24) zur Erzeugung eines Bildes des Gegenstandes im Messfeld und/oder eine Auswerteeinheit (25) zur Auswertung des erzeugten Bildes und zur Bestimmung der Entfernungen und/oder räumlichen Koordinaten des mindestens einen Gegenstands oder deren zeitlicher Änderungen umfasst ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufnahmevorrichtung (24) eine CCD-Kamera, eine CMOS-Kamera oder eine sonstige Bildaufnahmevorrichtung umfasst und/oder die Auswerteeinheit (25) einen Mikroprozessor aufweist.

12. Verfahren zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen Komponenten mindestens eines Gegenstands oder deren zeitlicher Änderung, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

a) Emission von Licht mittels einer Beleuchtungsvorrichtung;

b) Formung des emittierten Lichts mittels einer Freiformoptik zu einem strukturierten Lichtmuster, welches auf ein in einer Objektebene der Freiformoptik ausgebildetes Messfeld geformt wird;

c) Erfassung mindestens eines Bildes einer Oberfläche des Gegenstands mittels einer Aufnahmevorrichtung;

d) Bestimmung einer Entfernung und/oder räumlicher Koordinaten des Gegenstands oder deren zeitlicher Änderungen mittels einer Auswerteeinheit.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zeitlich aufeinanderfolgend mehrere, jeweils verschieden strukturierte oder positio-

nierte Lichtmuster erzeugt werden, wobei aufeinanderfolgende Lichtmuster vorzugsweise eine zueinander phasenverschobene Intensitätsverteilung aufweisen.

- 5 14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass das strukturierte Lichtmuster mindestens zwei Lichtpunkte und/oder zwei Lichtlinien (16) und/oder ein zweidimensionales
10 Lichtmuster in Form sich kreuzender Lichtlinien (16) umfasst.
15. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11 zur Qualitätskontrolle, zur Digitalisierung von Prototypen, zur Aufnahme von
15 Oberflächentopografien und/oder zur Bestimmung von dreidimensionalen Formen und/oder Oberflächenrauigkeiten.

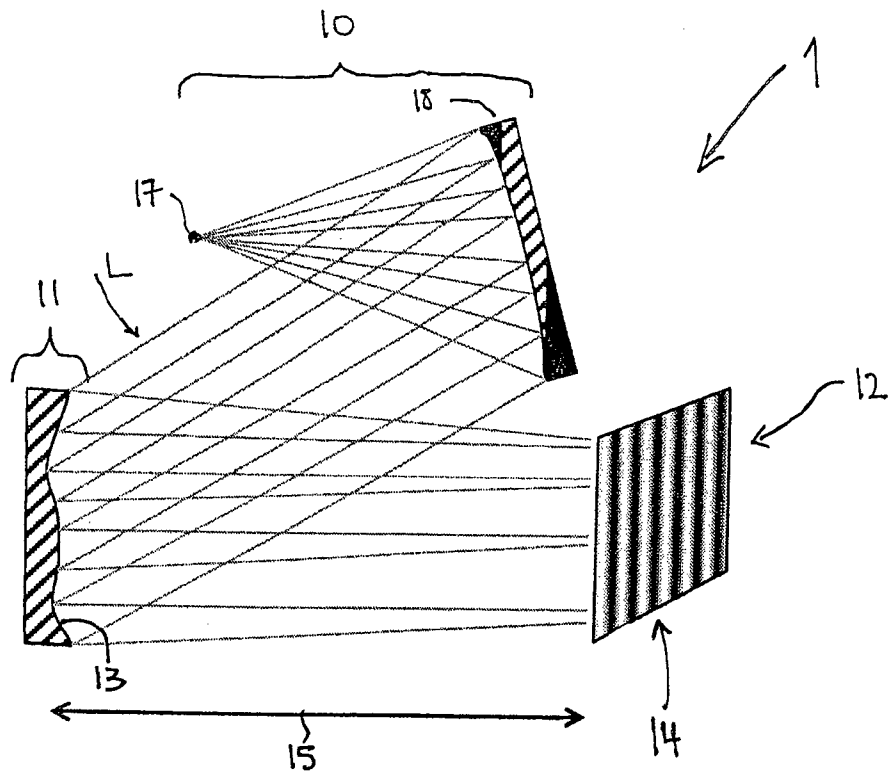


Fig. 1A

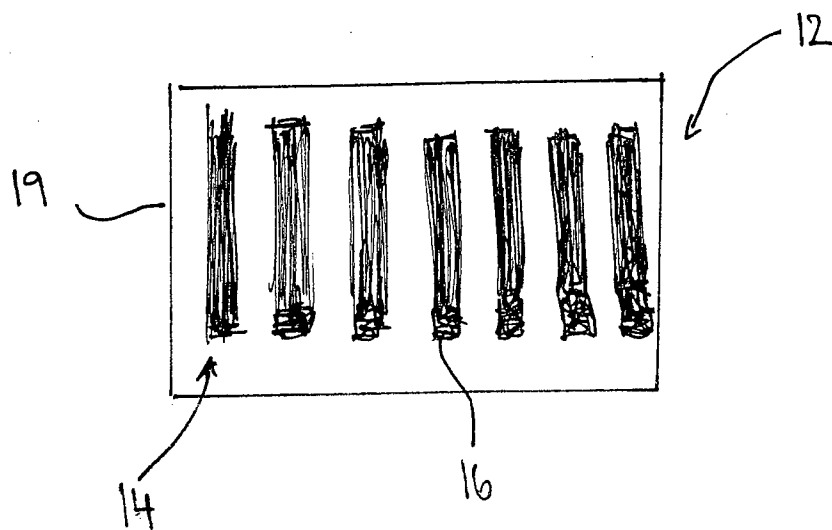


Fig. 1B

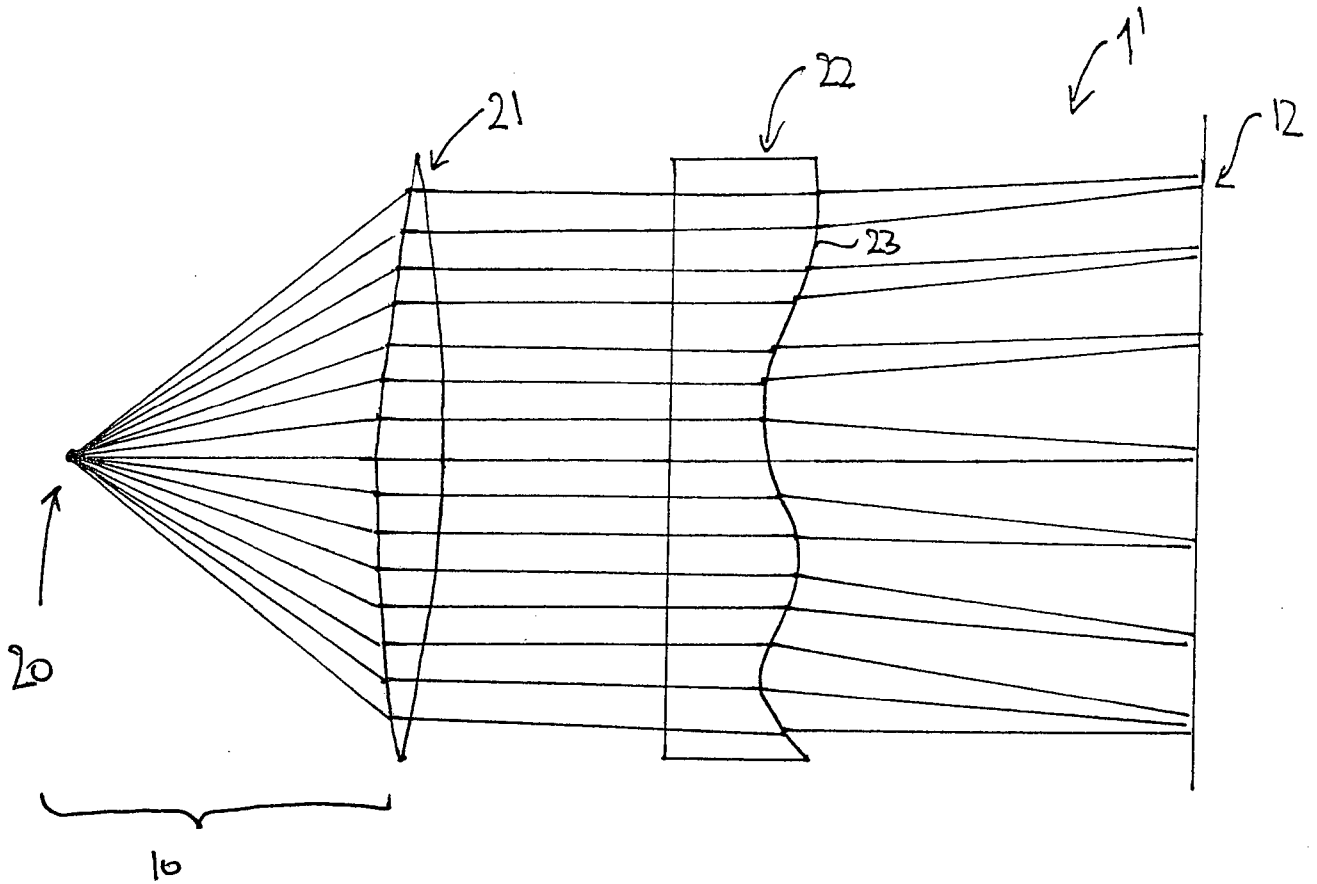


Fig. 2

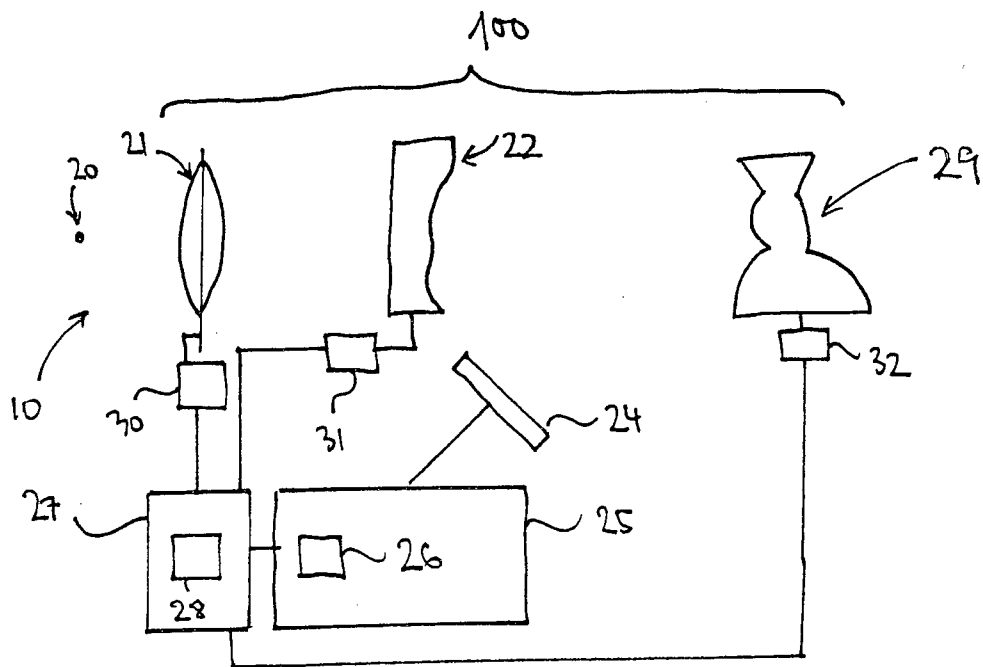


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/001204

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01B11/25 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01B 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	CN 101 539 267 A (UNIV HONG KONG SCIENCE & TECHN) 23 September 2009 (2009-09-23)	1,2,4,8
Y	abstract	1-8, 10-12, 14,15

X	US 5 790 305 A (MARCELLIN-DIBON ERIC [FR] ET AL) 4 August 1998 (1998-08-04)	1,2,4,8
Y	column 2, lines 2-6,43-46 column 3, lines 21-23 column 4, lines 53-55 figures 1,3	1-8, 10-12, 14,15

Y	DE 103 44 051 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 14 April 2005 (2005-04-14) cited in the application paragraphs [0001], [0006], [0008], [0012], [0014], [0029]; figure 2	1-8, 10-12, 14,15

-/-		
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 11 May 2012	Date of mailing of the international search report 21/05/2012	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Fazio, Valentina	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/001204

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2004/051223 A2 (LIGHT PRESCRIPTION INNOVATORS [US]) 17 June 2004 (2004-06-17) page 12, lines 8-11 page 16, lines 26-28 -----	1-8, 10-12, 14,15
A	DE 102 60 232 A1 (SWISSOPTIC AG HEERBRUGG [CH]; OEC AG [DE]) 15 July 2004 (2004-07-15) paragraphs [0036], [0039], [0041] - [0043], [0046], [0047]; figures 1-4 -----	1-8, 10-12, 14,15
A	GB 2 410 794 A (UNIV SHEFFIELD HALLAM [GB]) 10 August 2005 (2005-08-10) page 1, line 9 - page 5, line 16 -----	1,12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/001204

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
CN 101539267	A	23-09-2009	NONE
US 5790305	A	04-08-1998	BR 9601333 A 13-01-1998 CN 1153918 A 09-07-1997 DE 69622076 D1 08-08-2002 DE 69622076 T2 13-03-2003 EP 0737870 A1 16-10-1996 FR 2733062 A1 18-10-1996 JP 9005881 A 10-01-1997 US 5790305 A 04-08-1998
DE 10344051	A1	14-04-2005	NONE
WO 2004051223	A2	17-06-2004	AU 2003298802 A1 23-06-2004 US 2004189933 A1 30-09-2004 WO 2004051223 A2 17-06-2004
DE 10260232	A1	15-07-2004	NONE
GB 2410794	A	10-08-2005	CA 2554781 A1 18-08-2005 GB 2410794 A 10-08-2005 GB 2427914 A 10-01-2007 US 2008237505 A1 02-10-2008 WO 2005076214 A1 18-08-2005

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01B11/25
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01B 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	CN 101 539 267 A (UNIV HONG KONG SCIENCE & TECHN) 23. September 2009 (2009-09-23)	1,2,4,8
Y	Zusammenfassung	1-8, 10-12, 14,15

X	US 5 790 305 A (MARCELLIN-DIBON ERIC [FR] ET AL) 4. August 1998 (1998-08-04)	1,2,4,8
Y	Spalte 2, Zeilen 2-6,43-46 Spalte 3, Zeilen 21-23 Spalte 4, Zeilen 53-55 Abbildungen 1,3	1-8, 10-12, 14,15

Y	DE 103 44 051 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 14. April 2005 (2005-04-14) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0001], [0006], [0008], [0012], [0014], [0029]; Abbildung 2	1-8, 10-12, 14,15

	-/-	

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

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. Mai 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/05/2012

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

Fazio, Valentina

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2004/051223 A2 (LIGHT PRESCRIPTION INNOVATORS [US]) 17. Juni 2004 (2004-06-17) Seite 12, Zeilen 8-11 Seite 16, Zeilen 26-28 -----	1-8, 10-12, 14,15
A	DE 102 60 232 A1 (SWISSOPTIC AG HEERBRUGG [CH]; OEC AG [DE]) 15. Juli 2004 (2004-07-15) Absätze [0036], [0039], [0041] - [0043], [0046], [0047]; Abbildungen 1-4 -----	1-8, 10-12, 14,15
A	GB 2 410 794 A (UNIV SHEFFIELD HALLAM [GB]) 10. August 2005 (2005-08-10) Seite 1, Zeile 9 - Seite 5, Zeile 16 -----	1,12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/001204

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 101539267	A	23-09-2009	KEINE
US 5790305	A	04-08-1998	BR 9601333 A 13-01-1998 CN 1153918 A 09-07-1997 DE 69622076 D1 08-08-2002 DE 69622076 T2 13-03-2003 EP 0737870 A1 16-10-1996 FR 2733062 A1 18-10-1996 JP 9005881 A 10-01-1997 US 5790305 A 04-08-1998
DE 10344051	A1	14-04-2005	KEINE
WO 2004051223	A2	17-06-2004	AU 2003298802 A1 23-06-2004 US 2004189933 A1 30-09-2004 WO 2004051223 A2 17-06-2004
DE 10260232	A1	15-07-2004	KEINE
GB 2410794	A	10-08-2005	CA 2554781 A1 18-08-2005 GB 2410794 A 10-08-2005 GB 2427914 A 10-01-2007 US 2008237505 A1 02-10-2008 WO 2005076214 A1 18-08-2005