



(10) DE 10 2012 224 005 B4 2015.07.23

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2012 224 005.5

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2006.01)**

(22) Anmelddatag: 20.12.2012

B29C 67/00 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 26.06.2014

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 23.07.2015

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Heraeus Kulzer GmbH, 63450 Hanau, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

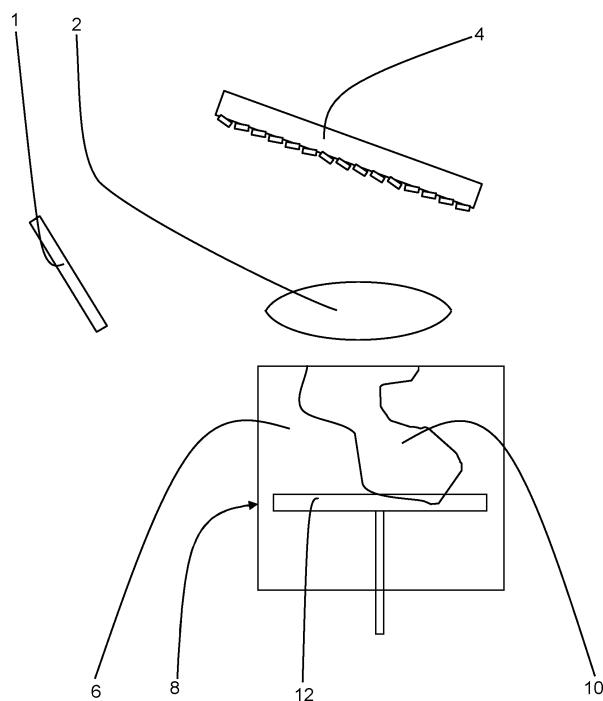
US 2002 / 0 008 091 A1
US 2006 / 0 119 743 A1
US 5 620 814 A

(74) Vertreter:
RUHR-IP Patentanwälte, 45133 Essen, DE

(72) Erfinder:
Bauer, Christian, 63825 Schöllkrippen, DE; Spatz, Marco, 63877 Sailauf, DE

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung einer homogenen Lichtverteilung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung einer homogenisierten Lichtmengenverteilung bei dem das Licht einer flächig abstrahlenden Lichtquelle (1) mit einem Flächenlichtmodulator (4), der eine Vielzahl von in Reihen und Spalten angeordneten ansteuerbaren kippbaren Mikrospiegeln aufweist, reflektiert und über eine Optik (2) abgebildet wird und ein Belichtungsfeld der abgebildeten Lichtquelle (1) über eine Projektionsfläche geführt wird, wobei eine zur Mitte des Belichtungsfelds hin zunehmende Anzahl von Pixeln nicht beleuchtet wird, so dass im zeitlichen integral eine Homogenisierung der Lichtintensität aller auf der Projektionsfläche beleuchteten Pixel erreicht wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer homogenisierten Lichtmengenverteilung mit einem Flächenlichtmodulator und ein Rapid-Prototyping-Verfahren, bei dem ein solches Verfahren zur Anwendung kommt.

[0002] Bei Rapid-Prototyping-Verfahren kommen neben Ultraviolett-(UV)-Lasern auch zunehmend UV-LED-Beamer zum Einsatz. Verfahren hierzu sind beispielsweise aus der EP 1 880 830 A1 und der EP 1 894 705 A2 bekannt. Dabei wird das UV-Licht auf einen lichthärtenden Kunststoff abgebildet. Bei der Abbildung werden dabei eine Optik und ein Flächenlichtmodulator verwendet. Aufgrund der Optik kommt es zu einer inhomogenen Lichtverteilung beziehungsweise Intensitätsverteilung. Die Randbereiche des Belichtungsfelds haben dabei typischerweise eine niedrigere Intensität als die Bereiche im Zentrum des Belichtungsfelds. Dieser auch als Tonnenbild bezeichnete Effekt führt dazu, dass der lichthärtende Kunststoff nicht an jeder Stelle die gleiche Intensität erhält und daher unterschiedlich und also inhomogen aushärtet.

[0003] Die EP 1 982 824 A2 schlägt vor, die Intensitätsverteilung zu homogenisieren, indem die helleren Pixel des UV-Beamers auf das Intensitäts-Niveau der Pixel am Rand durch eine Grauverteilung reduziert werden.

[0004] Nachteilig ist hieran, dass die Grauverteilung nur durch eine genaue Steuerung der Intensität erreicht werden kann. Es ist also auch Aufgabe der Erfindung ein weniger aufwendiges Verfahren bereitzustellen, mit dem ein ähnlicher Effekt erzielt werden kann.

[0005] In der US 5 620 814 A werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Einstellung von Belichtungsdosisprofilen bei der Bearbeitung von Oberflächen beschrieben. Dabei wird durch ein passend geformtes Belichtungsfeld, welches scannend über die zu belichtende Oberfläche geführt wird, die in die zu belichtende Oberfläche eingebrachte Belichtungsdosis lokal eingestellt/festgelegt.

[0006] In der US 2006/0119743 A1 werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Einstellung des Belichtungsquerschnitts eines Belichtungsstrahls bei der Bearbeitung von Oberflächen beschrieben. Dabei wird mittels eines Mikrospiegelarrays oder eines LCD-Arrays der Querschnitt des Belichtungsstrahls eingestellt, welcher scannend über die zu belichtende Oberfläche geführt wird.

[0007] In der US 2002/0008091 A1 werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Homogenisierung des Strahlprofils eines Lasers im Rahmen der Bearbei-

tung von Oberflächen beschrieben. Dabei wird mittels eines Mikrospiegelarrays und einer Blendenanordnung eine Homogenisierung des Strahlprofils des Lasers über den Strahlquerschnitt erzielt.

[0008] Die Aufgabe der Erfindung besteht also darin, die Nachteile des Stands der Technik zu überwinden. Insbesondere soll ein weniger aufwendiges Verfahren bereitgestellt werden, bei dem eine zufriedenstellende Homogenisierung der Lichtintensität des Belichtungsfelds erreicht wird. Das Verfahren soll möglichst kostengünstig realisierbar sein.

[0009] Die Aufgaben der Erfindung werden gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung einer homogenisierten Lichtmengenverteilung mit einem Flächenlichtmodulator, der eine Vielzahl von in Reihen und Spalten angeordneten ansteuerbaren kippbaren Mikrospiegeln aufweist, bei dem das Licht einer flächig abstrahlenden Lichtquelle über eine Optik abgebildet wird und ein Belichtungsfeld der abgebildeten Lichtquelle mit dem Flächenlichtmodulator über eine Projektionsfläche geführt wird, wobei eine zur Mitte des Belichtungsfelds hin zunehmende Anzahl von Pixeln nicht beleuchtet wird, so dass im zeitlichen Integral eine Homogenisierung der Lichtintensität aller auf der Projektionsfläche beleuchteten Pixel erreicht wird.

[0010] Als Pixel wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine kleinste anzusteuernde Lichtquelle verstanden, aus denen das Bild des Beamers zusammengesetzt ist.

[0011] Als Flächenlichtmodulatoren können beispielsweise die besonders gut geeigneten DLP® Chips der Firma Texas Instruments eingesetzt werden.

[0012] Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass als flächig abstrahlende Lichtquelle ein Beamer, bevorzugt ein LED-Beamer, besonders bevorzugt ein UV-LED-Beamer verwendet wird.

[0013] Dabei kann vorgesehen sein, dass durch eine für die Ansteuerung des Beamers hinterlegte Maske die nicht beleuchteten Pixel definiert werden, indem bestimmte Leuchtpunkte des Beamers immer ausgeschaltet bleiben.

[0014] Durch die hinterlegte Maske wird auf einfache Weise erreicht, dass die Lichtintensität in bestimmten Bereichen des Belichtungsfelds reduziert wird. Mit dieser Maske kann dann eine Homogenisierung des Belichtungsfeld erreicht werden.

[0015] Alternativ zur Verwendung einer hinterlegten Maske kann auch vorgesehen sein, dass durch eine Schwärzung der Mikrospiegel oder durch einen Flächenlichtmodulator mit Lücken in der Besetzung mit

Mikrospiegeln die nicht beleuchteten Pixel definiert werden.

[0016] Durch ein Weglassen einzelner Mikrospiegel können die Kosten für den Flächenlichtmodulator beziehungsweise die Anzahl der notwendigen Anschlüsse reduziert werden. Bei Verwendung einer Schwärzung kann auf handelsübliche vollflächig besetzte Flächenlichtmodulatoren zurückgegriffen werden.

[0017] Mit einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann auch vorgesehen sein, dass die Anzahl der nicht beleuchteten Pixel zur Mitte hin nach Maßgabe einer Funktion zunimmt, vorzugsweise linear oder nach Maßgabe einer Parabel zunimmt.

[0018] Hierdurch sind die aufgrund der Optik typischerweise auftretenden Abweichungen in der Intensität des Belichtungsfelds besonders gut auszugleichen. Eine solche Funktion kompensiert die Intensitätszunahme in der Mitte des Belichtungsfelds besonders gut.

[0019] Dabei kann vorgesehen sein, dass die Funktion in Abhängigkeit von der durch die Optik verursachten Inhomogenität des Belichtungsfelds bestimmt wird, vorzugsweise berechnet wird.

[0020] Auch diese Maßnahme dient dazu, einen möglichst genauen Ausgleich der baubedingten Fehler in der Intensitätsverteilung auszugleichen und damit ein möglichst homogenes Belichtungsfeld zu erzeugen.

[0021] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann auch vorgesehen sein, dass die Intensitätsverteilung des Belichtungsfelds bei maximaler Beleuchtung durch die Lichtquelle und den Flächenlichtmodulator gemessen oder berechnet wird und daraus die Anzahl der nicht beleuchteten Pixel in jeder Zeile und/oder Spalte ermittelt wird.

[0022] Hiermit wird ein besonders gut geeignetes Verfahren bereitgestellt, mit dem auch spezifische Intensitätsabweichungen bestimmter Beamer-Typen oder einzelner Beamer auf einfach Art ausgeglichen werden können.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die flächig abstrahlende Lichtquelle über die Projektionsfläche geführt wird, um das Belichtungsfeld der abgebildeten Lichtquelle über die Projektionsfläche zu führen.

[0024] Hierdurch wird eine besonders leicht umzusetzende Methode bereitgestellt, um das Verfahren beim Rapid-Prototyping umzusetzen. Diese Methode

ist weniger fehleranfällig als andere Methoden, das Belichtungsfeld über die Projektionsfläche zu führen.

[0025] Mit einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorgeschlagen, dass das Belichtungsfeld periodisch über die Projektionsfläche geführt wird.

[0026] Durch das periodische Überstreichen der Projektionsfläche wird eine gleichmäßige Intensität entlang der Bewegungsrichtung des Belichtungsfelds erreicht.

[0027] Es kann auch vorgesehen sein, dass als Projektionsfläche die Oberfläche eines flüssigen lichthärtenden Kunststoffs verwendet wird.

[0028] Bei der Verwendung eines flüssigen lichthärtenden Kunststoffs als Projektionsfläche ist das Verfahren zur Herstellung von dreidimensionalen Formkörpern (als sogenanntes Rapid-Prototyping Verfahren) geeignet.

[0029] Die der Erfindung zugrundeliegenden Aufgaben werden auch gelöst durch ein Rapid-Prototyping-Verfahren, bei dem ein flüssiger lichthärtender Kunststoff mit einem solchen Verfahren beleuchtet wird, vorzugsweise mit UV-Licht beleuchtet wird, wobei das Belichtungsfeld auf die Oberfläche des Kunststoffs abgebildet wird und der Kunststoff durch die Beleuchtung im Belichtungsfeld aushärtet.

[0030] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Homogenisierung der Lichtintensität des Belichtungsfelds wirkt sich besonders bei Rapid-Prototyping-Verfahren aus, da dadurch die erzeugten Kunststoffkörper homogen aufgebaut werden können.

[0031] Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass es durch das Verwenden von toten beziehungsweise immer schwarzen Pixeln, das heißt nicht leuchtenden Pixeln, gelingt, eine Homogenisierung der UV-Lichtintensität zu erreichen, ohne dass hierzu Grauwerte mit der Flächenlichtquelle eingestellt werden müssten. Dabei kann eine einmal definierte Maske verwendet werden, welche in einem Beamer, bevorzugt in einem UV-Beamer hinterlegt ist. Die Anzahl der in den Zeilen beziehungsweise Spalten schwarz definierten Pixel steigt dabei zur Mitte des Belichtungsfelds an, um die Intensitätsabschwächung des Belichtungsfelds zum Rand hin aufgrund der Optik auszugleichen. Dies ist notwendig, da die mittleren Zeilen (beziehungsweise Spalten) konstruktionsbedingt (aufgrund der Optik) heller beleuchtet sind.

[0032] Durch erfindungsgemäße Verfahren wird der folgende Effekt erzielt. Durch die Bewegung des Beamers beziehungsweise der vom Beamer ausgehenden Strahlung, wird bei einer Belichtung die kom-

plette Zeile des Belichtungsfelds angesteuert. Dadurch wird beim Überfahren eine maximale Lichtmenge (UV-Lichtmenge) erzeugt. Bei einem Belichtungsfeld mit beispielsweise 1920×1080 Pixeln würde die maximale Lichtmenge mit 1080 Pixeln erzeugt werden. Werden weniger Pixel angesteuert, so wird die Leistung beziehungsweise die zeitlich integrierte Lichtintensität gemindert. Auf diese Weise wird erfindungsgemäß die ungleiche Ausleuchtung der Optik ausgeglichen.

[0033] Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von zwei schematisch dargestellten Figuren erläutert, ohne jedoch dabei die Erfindung zu beschränken. Dabei zeigt:

[0034] **Fig. 1:** einen schematischen Aufbau in Querschnittsansicht zur Umsetzung eines erfindungsgemäß Verfahrens; und

[0035] **Fig. 2:** einen schematischen Vergleich eines voll beleuchteten UV-Beamer-Chips nach dem Stand der Technik (**Fig. 2A**) im Vergleich zu einem erfindungsgemäß betriebenen UV-Beamer-Chip (**Fig. 2B**).

[0036] **Fig. 1** zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines Aufbaus zur Umsetzung eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Ein UV-LED-Beamer **1**, der ultraviolettes Licht (UV-Licht) abstrahlt, wird auf einen Flächenlichtmodulator **4** abgestrahlt. Der UV-LED-Beamer **1** hat eine Auflösung von 1920×1080 Pixeln, die als rechteckige Fläche auf der Oberfläche eines Chips des UV-LED-Beamers **1** abstrahlen. Der Flächenlichtmodulator **4** umfasst eine Vielzahl von ansteuerbaren Mikrospiegeln, mit denen das Licht aus dem UV-LED-Beamer **1** reflektiert und mit Hilfe eines Linsensystems **2** auf die Oberfläche eines flüssigen lichthärtenden Kunststoffs **6** abgebildet wird. Die Mikrospiegel sind in **Fig. 1** als unterschiedlich orientierte kleine Rechtecke an einer Oberfläche des Flächenlichtmodulators **4** dargestellt. Der flüssige Kunststoff **6** ist in einem Behälter **8** angeordnet, der nach oben zum Flächenlichtmodulator **4** beziehungsweise dem Linsensystem **2** offen ist.

[0037] Das Linsensystem **2**, das in **Fig. 1** nur als einfache Linse schematisch dargestellt ist, bildet die Fläche der Pixel des UV-LED-Beamers **1** auf die Oberfläche des lichthärtenden Kunststoffs **6** ab. Mit Hilfe eines geeigneten Motors (nicht gezeigt) wird der UV-LED-Beamer **1** über den Behälter **8** gefahren und dadurch die Oberfläche des lichthärtenden Kunststoffs **6** mit dem Belichtungsfeld überstrichen, so dass jede Zeile des Chips des UV-LED-Beamers **1** jeden zu belichtenden Punkt vollständig überfährt beziehungsweise überfahren kann.

[0038] Das dadurch entstehende Belichtungsfeld auf der Oberfläche des lichthärtenden Kunststoffs **6**

härtet die flüssigen Bestandteile aus, so dass ein fester Kunststoffkörper **10** entsteht. Der feste Kunststoffkörper **10** ist auf einer Halterung **12** gelagert, die langsam nach unten abgesenkt wird, so dass die obere Oberfläche des Kunststoffkörpers **10** von dem flüssigen lichthärtenden Kunststoff **6** benetzt wird und eine neue feste Schicht mit Hilfe des Belichtungsfelds auf dem Kunststoffkörper **10** erzeugt werden kann. Für Details zur Umsetzung sei auf die EP 1 880 830 A1 oder die EP 1 894 705 A2 verwiesen.

[0039] Eine Homogenisierung des Lichtfelds und damit des erzeugten Kunststoffkörpers **10** wird dadurch erreicht, dass die in der Mitte des Chips des UV-LED-Beamers **1** angeordneten Pixel nicht verwendet werden, das heißt, dass diese schwarz bleiben. Zum besseren Verständnis ist eine erfindungsgemäß Verwendung beziehungsweise eine erfindungsgemäß Steuerung eines solchen Chips in **Fig. 2B** gezeigt und wird im Folgenden erläutert.

[0040] **Fig. 2** zeigt einen schematischen Vergleich eines voll beleuchteten UV-Beamer-Chips (**Fig. 2A**) nach dem Stand der Technik im Vergleich zu einem erfindungsgemäß betriebenen UV-Beamer-Chip (**Fig. 2B**). Der Beispielhaft gezeigte UV-LED-Chip hat nur 12×13 Pixel, damit das Grundprinzip der vorliegenden Erfindung einfach veranschaulicht werden kann. In einer realen Ausführung kommen UV-LED-Beamer mit einer wesentlich höheren Auflösung zum Einsatz, wie beispielsweise 1920×1080 Pixel.

[0041] Jeder der UV-LED-Chips hat 12 Spalten und 13 Zeilen. Bei dem voll beleuchteten UV-LED-Chip nach dem Stand der Technik (**Fig. 2A**) werden die inneren Bereiche des Belichtungsfelds mit einer höheren UV-Intensität bestrahlt, als die äußeren Bereiche. In der mittleren Spalte entsteht dadurch die höchste Intensität, die nach außen abnimmt. Aufgrund von Streueffekten und anderen durch die Optik auftretenden Eigenschaften, können die einzelnen Pixel des UV-LED-Beamers nicht beliebig scharf abgebildet werden. Jeder Pixel beleuchtet also auch die Bereiche des Belichtungsfelds, die eigentlich durch seine benachbarten Pixel beleuchtet werden müssten. Dadurch erhalten die durch die inneren Pixel bestrahlten Bereiche des Belichtungsfelds eine höhere Intensität als die durch die äußeren Pixel bestrahlten Bereiche des Belichtungsfelds.

[0042] Dies wird bezüglich der Spalten (In **Fig. 2** von oben nach unten) dadurch ausgeglichen, dass der UV-LED-Beamer entlang einer Bewegungsrichtung X über das Belichtungsfeld gefahren wird. Die Bewegungsrichtung X des UV-LED-Beamers beziehungsweise des Belichtungsfelds ist in den beiden **Fig. 2A** und **Fig. 2B** durch den Pfeil angegeben. Das von den UV-LED-Chips abgestrahlte Bild wird also in Richtung der Zeilen (In **Fig. 2** von links nach rechts, das heißt entlang des Pfeils X) über das Belichtungsfeld

bewegt. Zur Abbildung kann ein DLP® Chip der Firma Texas Instruments eingesetzt werden.

[0043] Durch die in **Fig. 2B** gezeigten schwarzen Pixel, die ausgeschaltet bleiben oder die vom Flächenlichtmodulator nicht auf die Oberfläche des flüssigen lichthärtenden Kunststoffs reflektiert werden, wird die Lichtintensität in den verschiedenen Spalten des erfundungsgemäß betriebenen UV-LED-Beamers zur Mitte hin immer stärker reduziert. Dadurch wird erreicht, dass die mittleren Bereiche des entlang der Bewegungsrichtung X überstrichenen Belichtungsfelds die gleiche Intensität ultravioletter Strahlungintensität erhalten, wie die äußersten Bereiche (Zeilen).

[0044] Die einfachste Ausführung für ein erfundungsgemäßes Verfahren kann dadurch realisiert werden, dass für den Beamer eine Maske hinterlegt wird, die definiert, welche der Pixel nicht eingeschaltet beziehungsweise benutzt werden und daher schwarz bleiben.

[0045] Alternativ kann aber auch ein Flächenlichtmodulator verwendet werden, der im Bereich der Mitte weniger oder geschwärzte Spiegel aufweist.

[0046] In **Fig. 2B** werden nur die äußersten beiden Zeilen mit allen zwölf Pixeln bestrahlt, während für jede Zeile, die dichter an der mittleren Zeile liegt, jeweils ein Pixel weniger leuchtet beziehungsweise abgebildet wird. In der mittleren Zeile sind dann nur noch sechs Pixel aktiv beziehungsweise es werden nur noch sechs Pixel abgebildet. Beim Überstreichen der Belichtungsfläche entlang der Bewegungsrichtung X wird eine mittlere Belichtungsintensität an den beleuchteten Stellen des Belichtungsfelds erzeugt, die unmittelbar proportional zur Anzahl der verwendeten beziehungsweise abgebildeten Pixel des UV-LED-Beamers ist.

[0047] Um eine gleichmäßig homogenisierte Lichtmengenverteilung auf der Oberfläche des lichthärtenden Kunststoffs beziehungsweise der Projektionsfläche zu erzielen, wird das Belichtungsfeld mit einer konstanten Geschwindigkeit über eine Bauplattform geführt. Die Bauplattform ist hier 1.920×20.000 Pixel groß (Pixelgröße hier $50 \times 50 \mu\text{m}$). Während der Bewegung werden Bildausschnitte über das Belichtungsfeld fortlaufend wiedergegeben.

[0048] Die einmal definierte Maske, welche im UV-Beamer hinterlegt ist, erzeugt in den einzelnen Zeilen tote (immer schwarze) Pixel. In diesem Fall steigt die Anzahl der in den Zeilen schwarz definierten Pixel zur Mitte hin an, da die mittleren Zeilen konstruktionsbedingt (durch Optik) heller beleuchtet sind.

[0049] Der Effekt ist folgender: Durch die Bewegung des UV-Beamers, wird bei einer Belichtung die komplette Zeile des Belichtungsfeldes angesteuert. So

wird beim Überfahren eine maximale UV-Lichtmenge mit 1080 erzeugt. Werden weniger Pixel angesteuert, so wird die Leistung gemindert und es kann so die ungleiche Ausleuchtung der Optik ausgeglichen werden.

[0050] Die in der voranstehenden Beschreibung, sowie den Ansprüchen, Figuren und Ausführungsbeispielen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln, als auch in jeder beliebigen Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Bezugszeichenliste

- 1 UV-LED-Beamer
- 2 Linsensystem
- 4 Flächenlichtmodulator
- 6 Lichthärtender flüssiger Kunststoff
- 8 Behälter
- 10 ausgehärteter lichthärtender Kunststoff/Kunststoffkörper
- 12 Halterung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer homogenisierten Lichtmengenverteilung bei dem das Licht einer flächig abstrahlenden Lichtquelle (1) mit einem Flächenlichtmodulator (4), der eine Vielzahl von in Reihen und Spalten angeordneten ansteuerbaren kippbaren Mikrospiegeln aufweist, reflektiert und über eine Optik (2) abgebildet wird und ein Belichtungsfeld der abgebildeten Lichtquelle (1) über eine Projektionsfläche geführt wird, wobei eine zur Mitte des Belichtungsfelds hin zunehmende Anzahl von Pixeln nicht beleuchtet wird, so dass im zeitlichen integral eine Homogenisierung der Lichtintensität aller auf der Projektionsfläche beleuchteten Pixel erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als flächig abstrahlende Lichtquelle (1) ein Beamer (1), bevorzugt ein LED-Beamer (1), besonders bevorzugt ein UV-LED-Beamer (1) verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch eine für die Ansteuerung des Beamers (1) hinterlegte Maske die nicht beleuchteten Pixel definiert werden, indem bestimmte Leuchtpunkte des Beamers (1) immer ausgeschaltet bleiben.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch eine Schwärzung der Mikrospiegel oder durch einen Flächenlichtmodulator (4) mit Lücken in der Besetzung mit Mikrospiegeln die nicht beleuchteten Pixel definiert werden.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl

der nicht beleuchteten Pixel zur Mitte hin nach Maßgabe einer Funktion zunimmt, vorzugsweise linear oder nach Maßgabe einer Parabel zunimmt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Funktion in Abhängigkeit von der durch die Optik (2) verursachten Inhomogenität des Belichtungsfelds bestimmt wird, vorzugsweise berechnet wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Intensitätsverteilung des Belichtungsfelds bei maximaler Beleuchtung durch die Lichtquelle (1) und den Flächenlichtmodulator (4) gemessen oder berechnet wird und daraus die Anzahl der nicht beleuchteten Pixel in jeder Zeile und/oder Spalte ermittelt wird.

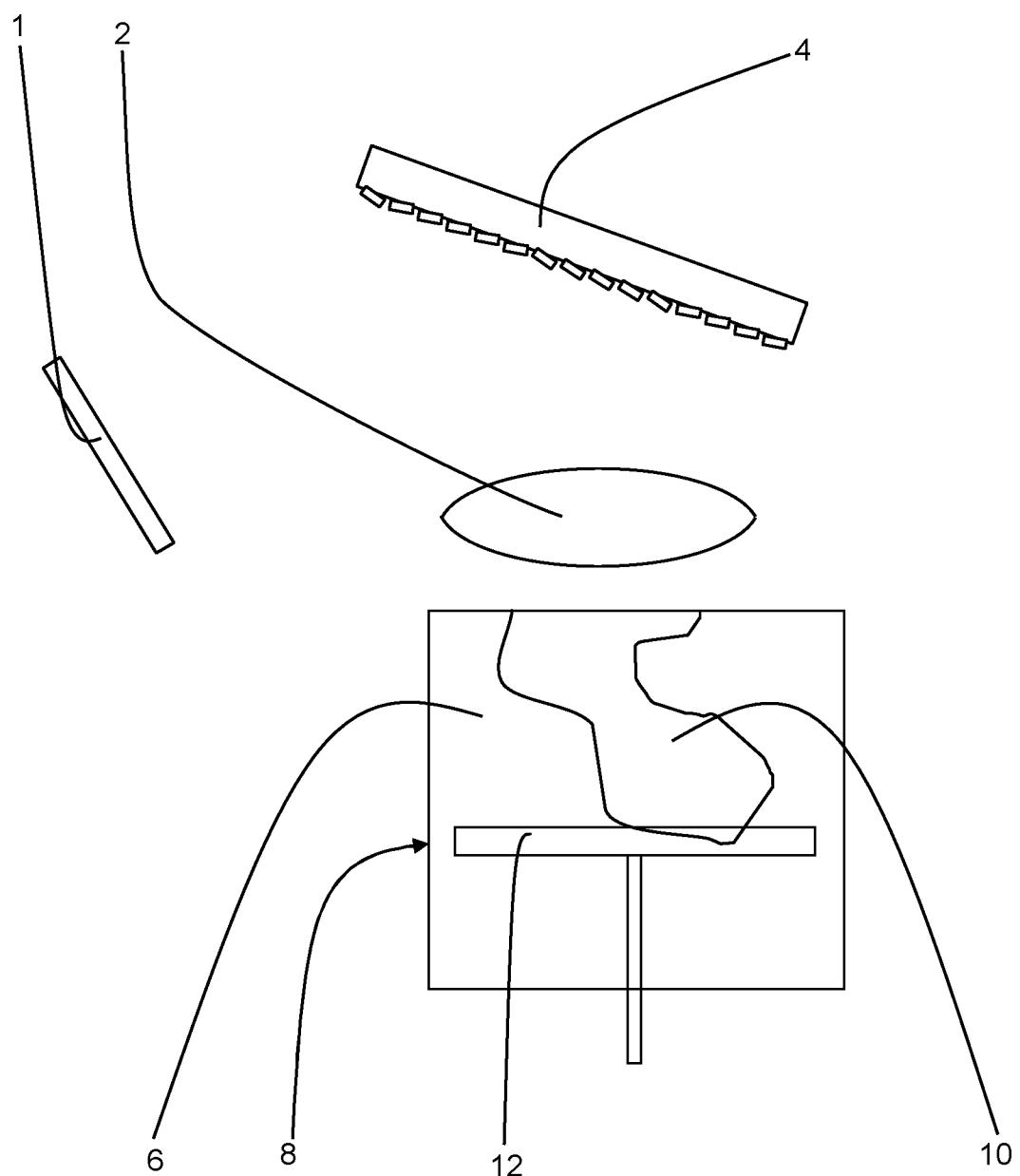
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Belichtungsfeld periodisch über die Projektionsfläche geführt wird, wobei vorzugsweise als Projektionsfläche die Oberfläche eines flüssigen lichthärtenden Kunststoffs (10) verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die flächig abstrahlende Lichtquelle (1) über die Projektionsfläche geführt wird, um das Belichtungsfeld der abgebildeten Lichtquelle (1) über die Projektionsfläche zu führen.

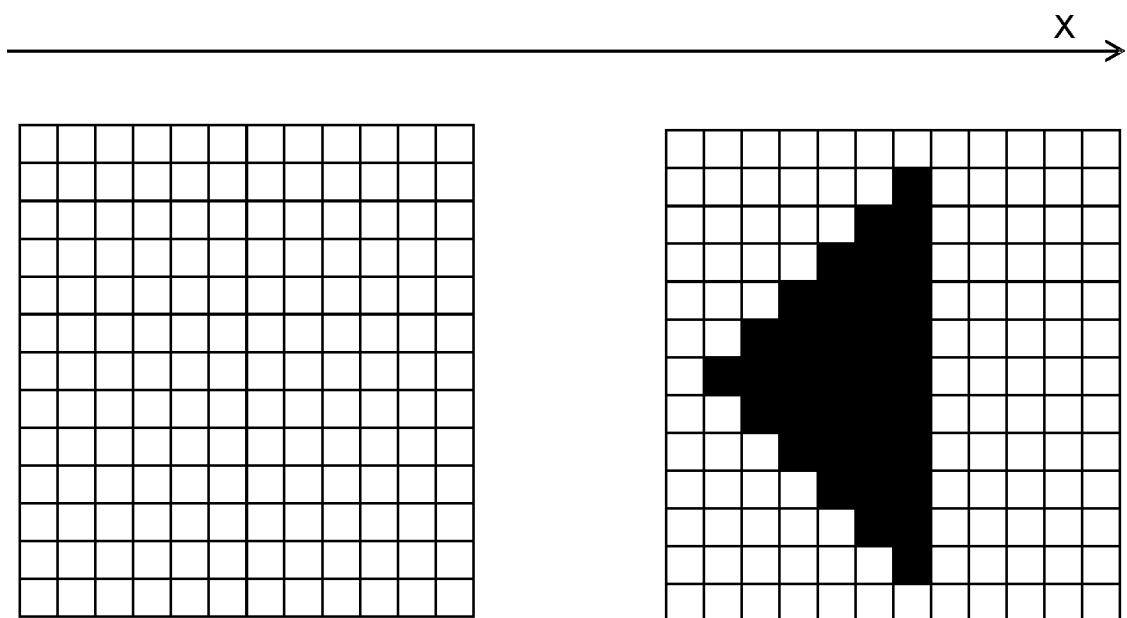
10. Rapid-Prototyping-Verfahren, bei dem ein flüssiger lichthärtender Kunststoff (10) mit einem Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche beleuchtet wird, vorzugsweise mit UV-Licht beleuchtet wird, wobei das Belichtungsfeld auf die Oberfläche des Kunststoffs (10) abgebildet wird und der Kunststoff (10) durch die Beleuchtung im Belichtungsfeld aushärtet.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Figur 1



Figur 2A (Stand der Technik)

Figur 2B