

(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
21. März 2019 (21.03.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/053136 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02B 21/06 (2006.01) G02B 21/36 (2006.01)
G02B 21/24 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/074768

(22) Internationales Anmeldedatum:

13. September 2018 (13.09.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2017 121 291.4

14. September 2017 (14.09.2017) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH**

[DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder: **STOPPE, Lars**; Karl-Schmid-Ring 3, 07743 Jena (DE).

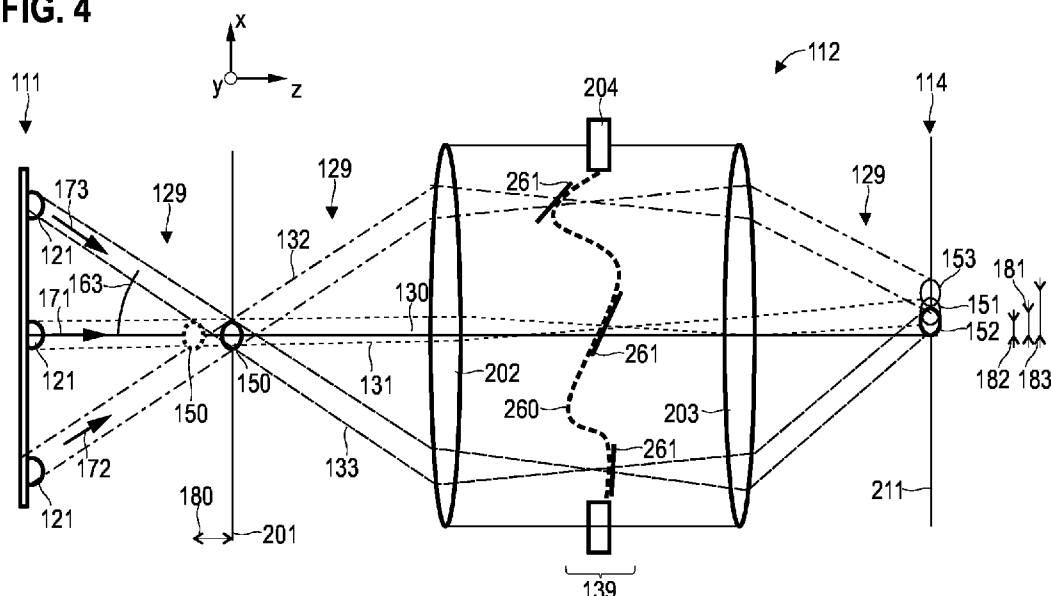
(74) Anwalt: **NEUSSER, Sebastian** et al.; Kraus & Weisert Patentanwälte PartGmbH, Thomas-Wimmer-Ring 15, 80539 München (DE).

(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, 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.

(54) Title: DETERMINING ABERRATIONS BY MEANS OF VARIABLE-ANGLE ILLUMINATION

(54) Bezeichnung: BESTIMMUNG VON ABERRATIONEN MITTELS WINKEL-VARIABLER BELEUCHTUNG

FIG. 4



(57) **Abstract:** An optical device comprises an illumination module (111), a detection optical system (112) and a detector (114), as well as a controller. The latter is designed to actuate the illumination module (111) to illuminate a specimen (150) from multiple illumination directions (171, 172, 173). The controller is also designed to actuate the detector (114) to capture images, wherein each image contains a reproduction (151, 152, 153) of the specimen (150) obtained by the detection optical system (112) on illumination in a corresponding illumination direction (171, 172, 173). The controller (115) is also designed to determine at least one aberration in the detection optical system (112) on the basis of the images (601, 602, 603).

(57) **Zusammenfassung:** Eine optische Vorrichtung umfasst ein Beleuchtungsmodul (111), eine Detektionsoptik (112) und einen Detektor (114), sowie eine Steuerung. Diese ist eingerichtet, um das Beleuchtungsmodul (111) zum Beleuchten eines Probenobjekts (150) aus mehreren Beleuchtungsrichtungen (171, 172, 173) anzusteuern. Die Steuerung ist weiterhin eingerichtet, um den Detektor (114)

(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)

zum Erfassen von Bildern anzusteuern, wobei jedes Bild ein durch die Detektionsoptik (112) erhaltenes Abbild (151, 152, 153) des Probenobjekts (150) bei Beleuchtung entlang einer entsprechenden Beleuchtungsrichtung (171, 172, 173) beinhaltet. Die Steuerung (115) ist weiterhin eingerichtet, um basierend auf den Bildern (601, 602, 603) mindestens eine Aberration der Detektionsoptik (112) zu bestimmen.

Bestimmung von Aberrationen mittels Winkel-variabler Beleuchtung

TECHNISCHES GEBIET

- 5 Verschiedene Ausführungsformen der Erfindung betreffen die Bestimmung von Aberrationen mittels Winkel-variabler Beleuchtung.

HINTERGRUND

- 10 Optische Vorrichtungen werden in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten eingesetzt. Beispielsweise werden Mikroskope zur Sichtbarmachung von kleinen Objekten verwendet. Teleskope werden oftmals verwendet, um weit entfernte Objekte zu vergrößern.

- 15 Die Güte der Abbildung von Probenobjekten ist in solchen Anwendungsgebieten häufig kritisch. Beispielsweise kann es notwendig sein, den Fehler von optisch erfassten Messgrößen in Abhängigkeit der Güte der Abbildung zu quantifizieren.

- Um die Güte der Abbildung zu bestimmen, kann es oftmals erforderlich sein, Abbildungsfehler bzw. Aberrationen der optischen Vorrichtung zu bestimmen. Zum
20 Beispiel können Aberrationen der optischen Vorrichtung mittels Zernike-Polynomen oder auch auf Grundlage anderer Formalismen beschrieben werden. Unterschiedliche Polynome beschreiben dann unterschiedliche Aberrationen, z.B. sphärische Aberrationen, Koma oder Astigmatismus, etc.. Es können Achs- und/oder
25 Feldaberrationen bestimmt werden. Beim Bestimmen von Aberrationen können dann Parameter des entsprechenden Formalismus ermittelt werden.

- Dabei sind unterschiedliche Techniken bekannt, um Aberrationen zu bestimmen. Ein Beispiel für eine Referenztechnik ist die Verwendung eines Wellenfrontsensors,
30 beispielsweise eines Shack-Hartmann-Sensor. Eine entsprechende Technik ist unter anderem beschrieben in US 6,382,793 B1. Die Verwendung eines Wellenfrontsensors kann jedoch vergleichsweise aufwendig sein und erfordert oftmals entsprechende Hardware. Entsprechendes gilt auch für eine

Referenztechnik, die eine interferometrische Vermessung von Aberrationen umfasst.

5 Eine weitere Referenztechnik ist in WO 2015/091036 A1 beschrieben. Dabei kann ein Defokus-Bildstapel erfasst werden. Solche Techniken können aufgrund der Notwendigkeit das Probenobjekt an unterschiedlichen Fokuspositionen anzuordnen vergleichsweise zeitaufwendig sein.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

10

Deshalb besteht ein Bedarf für verbesserte Techniken, um mindestens eine Aberration einer Detektionsoptik einer optischen Vorrichtung zu bestimmen. Insbesondere besteht ein Bedarf für verbesserte Techniken, die zumindest einige der oben genannten Nachteile und Einschränkungen beheben oder lindern.

15

Diese Aufgabe wird von den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Die Merkmale der abhängigen Patentansprüche definieren Ausführungsformen.

20

Eine optische Vorrichtung mit einem Beleuchtungsmodul, einer Detektionsoptik und einem Detektor umfasst auch eine Steuerung. Die Steuerung ist eingerichtet, um das Beleuchtungsmodul zum Beleuchten eines Probenobjekts aus mehreren Beleuchtungsrichtungen anzusteuern. Die Steuerung ist weiterhin eingerichtet, um den Detektor zum Erfassen von Bildern anzusteuern, wobei jedes Bild ein durch die Detektionsoptik erhaltenes Abbild des Probenobjekts bei Beleuchtung entlang einer entsprechenden Beleuchtungsrichtung beinhaltet. Die Steuerung ist weiterhin eingerichtet, um basierend auf den Bildern mindestens eine Aberration der Detektionsoptik zu bestimmen.

25

30

Ein Verfahren zum Betreiben einer optischen Vorrichtung umfasst das Ansteuern eines Beleuchtungsmoduls zum Beleuchten eines Probenobjekts aus mehreren Beleuchtungsrichtungen. Das Verfahren umfasst auch das Ansteuern eines Detektors zum Erfassen von Bildern, wobei jedes Bild ein durch eine Detektionsoptik erhaltenes Abbild des Probenobjekts bei Beleuchtung entlang einer entsprechenden

Beleuchtungsrichtung beinhaltet. Das Verfahren umfasst auch das Bestimmen mindestens einer Aberration der Detektionsoptik basierend auf den Bildern.

5 Ein Computerprogrammprodukt umfasst Programm-Code, der von mindestens einem Prozessor ausgeführt werden kann. Das Ausführen des Programm-Codes bewirkt, dass der mindestens eine Prozessor ein Verfahren zum Betreiben einer optischen Vorrichtung ausführt. Das Verfahren umfasst das Ansteuern eines Beleuchtungsmoduls zum Beleuchten eines Probenobjekts aus mehreren Beleuchtungsrichtungen. Das Verfahren umfasst auch das Ansteuern eines
10 Detektors zum Erfassen von Bildern, wobei jedes Bild ein durch eine Detektionsoptik erhaltenes Abbild des Probenobjekts bei Beleuchtung entlang einer entsprechenden Beleuchtungsrichtung beinhaltet. Das Verfahren umfasst auch das Bestimmen mindestens einer Aberration der Detektionsoptik basierend auf den Bildern.

15 Ein Computerprogramm umfasst Programm-Code, der von mindestens einem Prozessor ausgeführt werden kann. Das Ausführen des Programm-Codes bewirkt, dass der mindestens eine Prozessor ein Verfahren zum Betreiben einer optischen Vorrichtung ausführt. Das Verfahren umfasst das Ansteuern eines Beleuchtungsmoduls zum Beleuchten eines Probenobjekts aus mehreren
20 Beleuchtungsrichtungen. Das Verfahren umfasst auch das Ansteuern eines Detektors zum Erfassen von Bildern, wobei jedes Bild ein durch eine Detektionsoptik erhaltenes Abbild des Probenobjekts bei Beleuchtung entlang einer entsprechenden Beleuchtungsrichtung beinhaltet. Das Verfahren umfasst auch das Bestimmen mindestens einer Aberration der Detektionsoptik basierend auf den Bildern.

25

Die oben dargelegten Merkmale und Merkmale, die nachfolgend beschrieben werden, können nicht nur in den entsprechenden explizit dargelegten Kombinationen verwendet werden, sondern auch in weiteren Kombinationen oder isoliert, ohne den Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

30

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

FIG. 1 illustriert schematisch eine optische Vorrichtung mit einer Steuerung gemäß verschiedener Beispiele.

FIG. 2 illustriert schematisch ein Beleuchtungsmodul der optischen Vorrichtung gemäß verschiedener Beispiele.

5 FIG. 3 ist ein Flussdiagramm eines beispielhaften Verfahrens.

FIG. 4 illustriert schematisch den durch eine Detektionsoptik der optischen Vorrichtung definierten Strahlengang sowie eine aufgrund von Aberrationen verzerrte Wellenfront des Strahlengangs.

10

FIG. 5 illustriert schematisch Bilder, die mittels eines Detektors der optischen Vorrichtung bei Beleuchtung eines Probenobjekts mit unterschiedlichen Beleuchtungsgeometrien erfasst wurden.

15 DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der

20 Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. In den Figuren bezeichnen

25 gleiche Bezugszeichen gleiche oder ähnliche Elemente. Die Figuren sind schematische Repräsentationen verschiedener Ausführungsformen der Erfindung. In

den Figuren dargestellte Elemente sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu dargestellt. Vielmehr sind die verschiedenen in den Figuren dargestellten Elemente

derart wiedergegeben, dass ihre Funktion und genereller Zweck dem Fachmann

30 verständlich wird. In den Figuren dargestellte Verbindungen und Kopplungen

zwischen funktionellen Einheiten und Elementen können auch als indirekte

Verbindung oder Kopplung implementiert werden. Eine Verbindung oder Kopplung

kann drahtgebunden oder drahtlos implementiert sein. Funktionale Einheiten können

als Hardware, Software oder eine Kombination aus Hardware und Software implementiert werden.

Nachfolgend werden Techniken beschrieben, die es ermöglichen ein oder mehrere
5 Aberrationen eines optischen Systems, insbesondere einer Detektionsoptik des optischen Systems zu bestimmen. Beispielsweise wäre es mittels der hierin beschriebenen Techniken möglich, Werte für die Parameter von einem oder mehreren Zernike-Polynomen zu bestimmen. Es können auch andere Formalismen zur Beschreibung der einen oder mehreren Aberrationen verwendet werden.

10

Mittels solcher Techniken kann es möglich sein, ein oder mehrere Aberrationen besonders genau und zuverlässig, sowie vergleichsweise zügig zu bestimmen. Gleichzeitig kann es entbehrlich sein, besonders komplexe Hardware vorzusehen. Beispielsweise kann es mittels der hierin beschriebenen Techniken entbehrlich sein,
15 einen Wellenfrontsensor zu verwenden. Außerdem kann es mittels der hierin beschriebenen Techniken möglich sein, ein oder mehrere Aberrationen während des Durchführens einer Messung zu bestimmen. Insbesondere im Zusammenhang mit Langzeitmessungen kann es derart ermöglicht werden, eine Entwicklung von einer oder mehreren Aberrationen als Funktion der Zeit zu überwachen. Außerdem können
20 Aberrationen mit einem vergleichsweise großen Fangbereich bestimmt werden, d.h. auch wenn ein Probenobjekt defokussiert angeordnet ist.

Verschiedene der hierin beschriebenen Techniken beruhen auf der Verwendung eines Beleuchtungsmoduls, welches ausgebildet ist, um ein Probenobjekt aus einer
25 Vielzahl von unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen zu beleuchten.

Beispielsweise wäre es möglich, dass das Beleuchtungsmodul eine Vielzahl von Lichtquellen – beispielsweise Leuchtdioden – aufweist, wobei die verschiedenen Lichtquellen einzeln oder gruppenweise angesteuert werden. Die Lichtquellen können beabstandet voneinander auf einer Fläche des Beleuchtungsmoduls
30 angeordnet sein. Je nachdem, welche der Lichtquellen angeschaltet wird, kann derart eine entsprechende Beleuchtungsrichtung, mit der das Probenobjekt beleuchtet wird, umgesetzt werden. Solche Techniken werden auch manchmal als Winkel-variable Beleuchtung oder im Winkelraum strukturierte Beleuchtung

bezeichnet, weil eine im Winkelraum variable Lichtverteilung zur Beleuchtung des Probenobjekts verwendet wird.

- Als Probenobjekt kann zum Beispiel ein Amplitudenobjekt verwendet werden,
- 5 welches eine vergleichsweise kleine Ausdehnung in der lateralen Ebene – d. h. senkrecht zur optischen Achse – aufweist. Zum Beispiel könnte ein kleiner Kreis oder ein absorbierender Punkt als Probenobjekt verwendet werden. Zum Beispiel kann ein Probenobjekt mit a-priori bekannter Phasenänderung verwendet werden. Es kann auch ein Probenobjekt verwendet werden, das nur eine konstante Phasenänderung
- 10 aufweist, d.h. zum keinen zeitlichen Drift oder eine Phasenänderung, die als Position im Ortsraum variiert. Insbesondere kann es im Zusammenhang mit den hierin beschriebenen Techniken erstrebenswert sein, wenn das Probenobjekt in einer Fokusebene der Detektionsoptik angeordnet ist. Beispielweise könnten dazu Autofokus-Anwendungen verwendet werden oder es könnte eine manuelle
- 15 Fokussierung des Probenobjekts erfolgen. In manchen Beispielen könnte ein Referenz-Probenobjekt verwendet werden, d.h. ein Probenobjekt mit a-priori bekannter Form oder Geometrie. Es wäre aber auch möglich, ein a-priori unbekanntes Probenobjekt einer zu untersuchenden Probe zu verwenden.
- 20 Das Probenobjekt kann dann aus unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen beleuchtet werden. Dazu kann das Beleuchtungsmodul von einer Steuerung entsprechend angesteuert werden. Die unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen können beispielsweise durch ebene Lichtquellen implementiert werden.
- 25 Es ist dann möglich, für jede der Beleuchtungsrichtungen ein entsprechendes Bild zu erfassen. Dazu kann die Steuerung einen Detektor entsprechend ansteuern. Die verschiedenen Bilder beinhalten eine Abbildung des Probenobjekts bei jeweils einer definierten Beleuchtungsrichtung. Um eine entsprechende Trennung zwischen der Beleuchtung bei den unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen zu erreichen, kann
- 30 Multiplexen im Zeitraum, Frequenzraum und/oder Polarisationsraum erfolgen. Entsprechende Filter können vorgesehen sein und/oder die Steuerung kann eine entsprechende, zeitsequentielle Ansteuerung umsetzen.

Dann kann basierend auf den den unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen entsprechenden Bildern mindestens eine Aberration der Detektionsoptik bestimmt werden.

- 5 Die Fokusposition kann während des Erfassens der verschiedenen Bilder konstant bleiben; d.h. eine Re-Positionierung des Probenobjekts entlang der optischen Achse während der Beleuchtung aus den unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen kann unterbleiben.
- 10 Solche Techniken beruhen auf der Erkenntnis, dass die mit den unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen assoziierten Bilder je nach vorhandener Aberration der Detektionsoptik die Abbildung des Probenobjekts an unterschiedlichen Positionen beinhalten. Dies bedeutet, dass die Position der Abbildung des Probenobjekts als Funktion der vorhandenen Aberrationen des optischen Systems variiert. Dieser
- 15 Effekt kann grundsätzlich ausgenutzt werden, um die mindestens eine Aberration zu bestimmen. Zum Beispiel wäre es möglich, die mindestens eine Aberration über mehrere lokale Verkipptungen bzw. Gradienten der (System-)Wellenfront an einer Pupillenposition zu bestimmen. Durch Berücksichtigung der Verkipptungen an mehreren Positionen kann die Wellenfront rekonstruiert werden und anschließend in
- 20 ein oder mehrere Aberrationen zerlegt werden. Dies bedeutet in anderen Worten, dass es im Allgemeinen möglich ist, die mindestens eine Aberration mit einer Ortsauflösung, d.h. für mehrere Objektpunkte, zu bestimmen. Dazu kann die Differenz zwischen Abbildungspositionen des Probenobjekts in den verschiedenen Bildern, wie beschrieben, orts aufgelöst bzw. für verschiedene Bildpunkte
- 25 berücksichtigt werden. Das heißt unterschiedliche Bereiche des Probenobjekts (etwa links-rechts und oben-unten oder mit größerer Ortsauflösung) können eine unterschiedliche Differenz der jeweiligen Abbildungspositionen aufweisen.

- Solche Techniken ermöglichen es, die mindestens eine Aberration ohne Verwendung
- 30 eines Wellenfrontsensors, lediglich auf Grundlage der unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen zu bestimmen. Das Erfassen der verschiedenen Bilder, die mit den unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen assoziiert sind, kann zügig erfolgen. Es kann auch eingebettet mit einer sonstigen Vermessung des

Probenobjekts durchgeführt werden, beispielsweise eingebettet in eine Langzeitmessung.

- FIG. 1 illustriert eine beispielhafte optische Vorrichtung 100. Beispielsweise könnte
- 5 die optische Vorrichtung 100 gemäß dem Beispiel der FIG. 1 ein Lichtmikroskop implementieren, beispielsweise in Durchlichtgeometrie. Es wäre auch möglich, dass die optische Vorrichtung 101 ein Laser-Scanning-Mikroskop oder ein Fluoreszenzmikroskop implementiert. Mittels der optischen Vorrichtung 100 kann es möglich sein, kleine Strukturen eines von einem Probenhalters 113 fixierten
- 10 Probenobjekts vergrößert darzustellen. Eine Detektionsoptik 112 ist eingerichtet, um ein Abbild des Probenobjekts auf einem Detektor 114 zu erzeugen. Der Detektor 114 kann dann eingerichtet sein, um ein oder mehrere Bilder des Probenobjekts zu erfassen. Auch eine Betrachtung durch ein Okular ist möglich.
- 15 Ein Beleuchtungsmodul 111 ist eingerichtet, um das Probenobjekt, das auf dem Probenhaltern 113 fixiert ist, zu beleuchten. Das Beleuchtungsmodul 111 kann insbesondere eingerichtet sein, um eine Winkel-variable Beleuchtung wie insbesondere eine Winkel-variable Beleuchtung des Probenobjekts zu ermöglichen. Dies bedeutet, dass das Beleuchtungsmodul 111 eingerichtet sein kann, um das
- 20 Probenobjekt wahlweise aus unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen zu beleuchten. Dies bedeutet, dass eine Beleuchtung mit ebenen Wellen aus unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen – d. h. unter unterschiedlichen Winkeln – erfolgen kann. Dazu könnte das Beleuchtungsmodul 111 beispielsweise eine Vielzahl von Lichtquellen aufweisen. Es könnten auch andere Implementierungen
- 25 des Beleuchtungsmoduls 111 gewählt werden, beispielsweise eine Mikrospiegel-Vorrichtung (engl. digital micromirror device, DMD) oder ein Scanner.

- Eine Steuerung 115 ist vorgesehen, um die verschiedenen Komponenten 111-114 der optischen Vorrichtung 100 anzusteuern. Beispielsweise könnte die Steuerung
- 30 115 eingerichtet sein, um einen Motor des Probenhalters 113 anzusteuern, um eine Autofokus-Anwendung zu implementieren. Beispielsweise könnte die Steuerung 115 als Mikroprozessor oder Mikrocontroller implementiert sein. Alternativ oder zusätzlich könnte die Steuerung 115 beispielsweise einen FPGA oder ASIC umfassen. Die

Steuerung 115 könnte beispielsweise Programm-Code aus einem Speicher laden (in FIG. 1 nicht dargestellt).

FIG. 2 illustriert Aspekte in Bezug auf das Beleuchtungsmodul 111. In der
5 beispielhaften Implementierung gemäß FIG. 2 umfasst das Beleuchtungsmodul 111 einen Träger 120, auf welchem eine Vielzahl von Lichtquellen 121 – beispielsweise Leuchtdioden – angeordnet sind. In dem Beispiel der FIG. 2 sind die Lichtquellen 121 in einer Gitterstruktur angeordnet. In anderen Beispielen könnten die Lichtquellen 121 aber auch in einer anderen Art und Weise auf dem Träger 120 angeordnet sein,
10 beispielsweise ringförmig, etc.

Die Steuerung 115 kann eingerichtet sein, um einzelne Lichtquellen 121 gesondert anzusteuern, d. h. um einzelne Lichtquellen 121 getrennt an- und auszuschalten. Indem eine bestimmte Lichtquelle 121 angeschaltet wird und die übrigen Lichtquellen
15 121 ausgeschaltet werden, kann die Beleuchtung des Probenobjekts unter einer bestimmten Beleuchtungsrichtung implementiert werden. Es wäre aber auch möglich, dass eine bestimmte Beleuchtungsrichtung durch das Anschalten von mehr als einer Lichtquelle 121 implementiert wird. Beispielsweise könnten zwei oder mehr benachbarte Lichtquellen 121 angeschaltet werden.

20 Das Beleuchtungsmodul 111 könnte weitere optische Elemente aufweisen, beispielsweise eine Kondensor-Linse, etc.. Dies ist in FIG. 2 aus Gründen der Einfachheit nicht dargestellt.

25 FIG. 3 ist ein Flussdiagramm eines beispielhaften Verfahrens. Beispielsweise könnte die Steuerung 115 eingerichtet sein, um das Verfahren gemäß dem Beispiel der FIG. 3 auszuführen. Beispielsweise könnte die Steuerung 115 dazu Programm-Code aus einem Speicher laden und diesen anschließend ausführen.

30 Zunächst erfolgt in 1001 das Ansteuern eines Beleuchtungsmoduls, um ein Probenobjekt aus mehreren Beleuchtungsrichtungen zu beleuchten.

Beispielsweise könnte das Beleuchten des Probenobjekts zeitsequentiell erfolgen. Es wäre aber auch möglich, dass das Probenobjekt zumindest teilweise zeitparallel

aus den verschiedenen Beleuchtungsrichtungen beleuchtet wird. Dabei wäre es z.B. möglich, dass mit unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen assoziiertes Licht unterschiedliche Frequenzen und/oder Polarisationen aufweist. Dann kann eine Trennung durch geeignete Filter oder entsprechende Bildpunkte eines Detektors mit geeigneter Sensitivität erfolgen, etwa rot-grün-blau Bildpunkte. Eine weitere Möglichkeit zur Trennung der Abbilder bei unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen beruht auf einer zielgerichteten, defokussierten Positionierung des Probenobjekts. Die Steuerung kann also eingerichtet sein, um das Probenobjekt vor der Beleuchtung zu defokussieren. Dann kann das Probenobjekt aus mehreren Beleuchtungsrichtungen gleichzeitig – d.h. zumindest zeitüberlappend – beleuchtet werden. Durch den Defokus ergibt sich eine räumliche Trennung der einzelnen Abbilder, sodass man die entsprechenden Positionen aufgelöst für die unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen bestimmen kann. Der Defokus kann z.B. gemessen werden und dann im Zusammenhang mit einem Kugelwellen-Beitrag zu einem die Wellenfront annähernden Polynom berücksichtigt werden; der Kugelwellen-Beitrag könnte auch frei angepasst werden.

In 1002 erfolgt das Ansteuern eines Detektors zum Erfassen von Bildern bei den mehreren Beleuchtungsrichtungen. Dies bedeutet, dass unterschiedliche Bilder mit unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen assoziiert sind. Beispielsweise könnte ein erstes Bild mit einer ersten Beleuchtungsrichtung assoziiert sein und ein zweites Bild könnte mit einer zweiten Beleuchtungsrichtung assoziiert sein. Dadurch kann erreicht werden, dass unterschiedliche Bilder ein Abbild des Probenobjekts beinhalten, dass durch Beleuchtung des Probenobjekts bei unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen entsteht.

Im Allgemeinen könnten beispielsweise zwei unterschiedliche Bilder erfasst werden. Es könnten aber auch mehr als zwei Bilder erfasst werden, z.B. mehr als zehn oder mehr als hundert Bilder jeweils bei entsprechenden Beleuchtungsrichtungen.

30

Die Abbilder des Probenobjekts können auf einer Sensorfläche des Detektors entstehen. Dazu kann eine Detektionsoptik zwischen dem Detektor und dem Probenobjekt vorgesehen sein. Die Detektionsoptik kann zum Beispiel ein oder mehrere Linsen, ein oder mehrere Feldblenden, etc. aufweisen.

Insbesondere ist es möglich, dass die Detektionsoptik Aberrationen aufweist. Dies bedeutet, dass ein durch die Detektionsoptik definierter Strahlengang eine unregelmäßige Wellenfront aufweisen kann. Aberrationen können quantifiziert werden im Rahmen einer Transferfunktion. Die Transferfunktion kann das erzeugte Abbild als Funktion des Probenobjekts beschreiben.

Entsprechende Techniken sind z.B. grundsätzlich im Zusammenhang mit US 2014/118 529 A1. Die dort beschriebenen Techniken beruhen auf einem Ansatz im Zusammenhang mit der Fourier-Ptychographie und weisen den Nachteil auf, dass lediglich eine globale Bestimmung von Aberrationen ermöglicht wird. Außerdem ist der dort beschriebene Algorithmus zur Bestimmung von Aberrationen vergleichsweise komplex und erfordert eine große Anzahl von Hardware-Ressourcen.

In 1003 wird mindestens eine Aberration der Detektionsoptik bestimmt. Dies erfolgt auf Basis der in 1002 erfassten Bilder.

Solche Techniken beruhen auf der Erkenntnis, dass die Position der Abbilder des Probenobjekts in den verschiedenen Bildern indikativ für die Wellenfront des Strahlengangs sein können. Dies ist auch im Zusammenhang mit FIG. 4 beschrieben.

FIG. 4 illustriert Aspekte in Bezug auf einen Strahlengang 129 von Licht. Der Strahlengang 129 umfasst mehrere Strahlen 131 – 133. Der Strahlengang 129 wird durch die Detektionsoptik 112 definiert. Der Strahlengang 129 verläuft von den Lichtquellen 121 des Beleuchtungsmoduls 111 entlang des Probenobjekts 150, durch die Detektionsoptik 112 hin zu einer Sensorfläche 211 des Detektors 114.

Aus FIG. 4 ist ersichtlich, dass die Detektionsoptik 112 zwei Linsen 202, 203 umfasst. Die Detektionsoptik umfasst auch eine Feldblende 204, die im Bereich einer konjugierten Ebene 139 des Strahlengangs 129 angeordnet ist. Im Bereich der konjugierten Ebene 139 werden die Abbilder 151 – 153 des Probenobjekts 150 im Ortsfrequenzraum wiedergegeben.

Aus FIG. 4 ist ersichtlich, dass der Strahl 131 (gepunktete Linie) der Beleuchtungsrichtung 171 entspricht. Der Strahl 132 (gepunktet – gestrichelte Linie) entspricht der Beleuchtungsrichtung 172. Der Strahl 133 (gestrichelte Linie) entspricht der Beleuchtungsrichtung 173. Die verschiedenen Beleuchtungsrichtungen 171 – 173 entsprechen unterschiedlichen Winkeln 163, mit denen das Licht auf das Probenobjekt 150 auftrifft (aus Gründen der Einfachheit ist in FIG. 4 nur der Winkel 163 für die Beleuchtungsrichtung 173 dargestellt). Je nach Winkel 163 der verwendeten Beleuchtungsrichtung 171 – 173, verläuft der entsprechende Strahl 131 – 133 an unterschiedlichen Positionen entlang der X-Richtung durch die konjugierte Ebene 139. Deshalb können durch die Verwendung unterschiedlicher Beleuchtungsrichtungen 171 – 173 unterschiedliche Positionen in der konjugierten Ebene 139 vermessen werden.

15 Trotz der 1-D Darstellung in FIG. 4 ist eine 2-D Vermessung unterschiedlicher Positionen in der XY-Ebene möglich ist. Dazu kann z.B. 2-D Array von Lichtquellen 121 (vgl. FIG. 2) verwendet werden, welches eingerichtet ist, um Beleuchtungsrichtungen in 2-D bereitzustellen.

20 In FIG. 4 ist das Probenobjekt 150 in einer Fokusebene 201 der Detektionsoptik 112 angeordnet; dazu wurde das Probenobjekt 150, das zunächst eine Defokussierung – die einer Fokusposition 180 ungleich 0 entspricht (in FIG. 4 ist das defokussiert angeordnete Probenobjekt 150 gestrichelt dargestellt) – aufwies, fokussiert. Dies kann durch geeignete Autofokus-Anwendungen erfolgen, z.B. interferometrisch oder

25 auf Grundlage eines Schärfemaßes der Abbildung des Probenobjekts 150.

In FIG. 4 ist im Bereich der konjugierten Ebene 139 die Wellenfront 260 des Strahlengangs 129 dargestellt. Diese Wellenfront 260 (gepunktete Linie in FIG. 4) wird gebildet durch den Verlauf der verschiedenen Strahlen 131 – 133. Aus FIG. 4 ist

30 ersichtlich, dass die Wellenfront 260 keine gerade Linie ausbildet, d. h. nicht eben ist. Die Wellenfront ist verzerrt. Die lokalen Verkippungen 261 der Wellenfront 260 gegenüber der Z-Richtung bzw. gegenüber der optischen Achse 130 werden durch ein oder mehrere Aberrationen der Detektionsoptik 112 hervorgerufen. Zum Beispiel könnten Imperfektionen der Linsen 202, 203 die Aberrationen bewirken.

Die Aberrationen bzw. die gekrümmte Wellenfront 260 bewirken, dass die Abbilder 151 – 153 des Probenobjekts 150 unterschiedliche Abstände 181 – 183 in Bezug auf die optische Achse 130 (oder einen anderen Referenzpunkt) aufweisen. Dies ist

5 auch in FIG. 5 dargestellt.

FIG. 5 illustriert Aspekte in Bezug auf Bilder 601 – 603, die mit den verschiedenen Beleuchtungsrichtungen 151 – 153 assoziiert sind. Aus FIG. 5 ist ersichtlich, dass die Abbilder 151 – 153 des Probenobjekts aufgrund der Aberrationen der Detektionsoptik 112 unterschiedliche Abstände 181 – 183 zur optischen Achse 130 aufweisen. Diese Abstände 181 – 183 sind proportional zur Verkippung 261 des entsprechenden Bereichs der Wellenfront 260 des Strahlengangs 129 im Bereich der konjugierten Ebene 139 (vergleiche FIG. 4). Es ist dann also möglich, die Positionen der Abbilder 151-153 für die verschiedenen Bilder 601 – 603 bzw. die unterschiedlichen

10 112 Beleuchtungsrichtungen 171 – 173 zu bestimmen. Die Positionen der Abbilder entsprechen den Abständen 181-183. Unter Berücksichtigung der Positionen der Abbilder 151 – 153 kann dann die mindestens eine Aberration der Detektionsoptik 112 bestimmt werden.

20 Dabei können in den verschiedenen hierin beschriebenen Techniken unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung der Position der Abbilder 151 – 153 verwendet werden. Beispielsweise könnten Techniken der Objekterkennung eingesetzt werden. Es könnten auch Techniken der Landmarken-Erkennung – zum Beispiel bei a-priori bekannten Referenzprobenobjekten – eingesetzt werden. Es

25 wäre auch möglich, einen Kantenfilter zu verwenden. Beispielsweise könnte ein geometrischer Schwerpunkt der durch die Kanten abgegrenzten Abbilder 151 – 153 beim Bestimmen der Position ermittelt werden.

In Abhängigkeit der bestimmten Position können dann die Abstände 181 – 183

30 ermittelt werden. Diese Abstände 181 – 183 können Verkippung 261 des entsprechenden Bereichs der Wellenfront des Strahlengangs 129 im Bereich der konjugierten Ebene 139 beschreiben. Die laterale Position des entsprechenden Bereichs – d. h. die Position des entsprechenden Bereichs in der XY-Ebene – kann basierend auf dem Winkel 163 der entsprechenden Beleuchtungsrichtung 171 – 173

bestimmt werden. Die derart bestimmten Verkippungen 261 können zum Beispiel direkt in entsprechende Parameter von Polynomen, die die Aberrationen beschreiben, umgerechnet werden. Wenn eine Vielzahl von Verkippungen an unterschiedlichen Positionen der XY-Ebene bestimmt wurden, dann können die

5 Polynome an den entsprechenden „Stützstellen“ besonders genau angepasst werden. Insbesondere kann es erstrebenswert sein, viele Verkippungen an weit auseinanderliegenden Positionen in der XY-Ebene zu bestimmen. Beispielsweise könnten Zernike-Polynome verwendet werden. Alternativ oder zusätzlich könnte auch die geometrische Form der Wellenfront 260 des Strahlengangs 129 bestimmt

10 werden, durch Integration der Verkippung 261 in der XY-Ebene. Auch diese geometrische Form der Wellenfront beschreibt die Aberrationen.

Aus den FIGs. 4 und 5 ist ersichtlich, dass das verwendete Probenobjekt 150 eine vergleichsweise kleine Ausdehnung entlang der X-Richtung aufweist. Im Allgemeinen

15 kann das Probenobjekt 150 eine vergleichsweise kleine Ausdehnung in der lateralen XY-Ebene aufweisen. Z.B. könnte im Allgemeinen das Probenobjekt 150 eine Ausdehnung in der lateralen XY-Ebene aufweisen, die kleiner als 10 % des Durchmessers der Feldblende 204 ist, optional kleiner als 5 %, weiter optional kleiner als 1 %. Dies kann es ermöglichen, die geometrische Form der Wellenfront 260 mit

20 einer besonders großen Ortsauflösung zu vermessen.

Es wäre in anderen Beispielen aber auch möglich, vergleichsweise große Probenobjekte zu verwenden. Dann können nämlich feldabhängige Effekte der entsprechenden Punktspreizfunktion gemittelt werden.

25

Manchmal kann es vorkommen, dass es aufgrund von bestimmten Limitierung nicht oder nur eingeschränkt möglich ist, das Probenobjekt 150 in der Fokusebene 201 anzuordnen, d. h. die Fokusposition 180 gleich null zu wählen. Dann kann ein Szenario auftreten, bei welchem die Bilder 601 – 603 bei einer endlichen

30 Fokusposition 180 erfasst werden. In einem solchen Fall könnte es möglich sein, die Fokusposition 180 zu bestimmen. Dazu können geeignete Techniken eingesetzt werden, beispielsweise Techniken, die ein Schärfemaß der entsprechenden Abbildung des Probenobjekts berücksichtigen. Es könnten auch interferometrische Ansätze verwendet werden. Es wäre auch möglich, die Fokusposition 180 durch

Verwendung unterschiedlicher Beleuchtungsrichtungen zu bestimmen, siehe zum Beispiel DE 10 2014 109 687 A1.

Es ist dann möglich, beim Bestimmen der mindestens einen Aberration die
5 Fokusposition zu berücksichtigen. Insbesondere kann es möglich sein, eine solche globale DE Fokussierung des Probenobjekts zu kompensieren. Beispielsweise wäre es nämlich möglich, einen bestimmten Kugelwellen-Beitrag zur geometrischen Form der Wellenfront 260 des Strahlengangs 129 aufgrund der endlichen Fokusposition 180 anzunehmen.

10

Es ist nicht in allen Fällen notwendig, die Fokuspositionen beim Bestimmen der Aberration a-priori zu kennen. Vielmehr wäre es auch möglich, einen Kugelwellen-Beitrag als freien Parameter bei der Anpassung von Aberrations-Polynomen zu berücksichtigen. Der Kugelwellen-Beitrag könnte dann im Nachhinein bestimmt
15 werden, ohne dass a-priori bekannt ist, ob das Probenobjekt fokussiert oder defokussiert angeordnet ist. Dann keine nachträgliche Bereinigung der Effekte aufgrund der defokussierten Anordnung des Probenobjekts erfolgen.

20

Solche hierin beschriebenen Techniken können in manchen Beispielen auch mit weiteren Techniken zur Bestimmung von ein oder mehreren Aberrationen kombiniert werden. Zum Beispiel wäre es in manchen Beispielen möglich, dass ein Defokus-Stapel von weiteren Bildern erfasst wird. Dies bedeutet, dass ein verstellbarer Probenhalter angesteuert werden kann, sodass nacheinander unterschiedliche Fokuspositionen 180 umgesetzt werden. Für jede Fokuspositionen kann dann ein
25 weiteres Bild erfasst werden. Dies kann für zumindest eine Beleuchtungsrichtung 171 – 173 erfolgen; es könnte aber auch für mehrere oder alle

25

Beleuchtungsrichtungen erfolgen. Auf Grundlage der weiteren Bilder eines Defokus-Stapels kann dann die mindestens eine Aberration bestimmt werden, z.B. anhand der in WO 2015/091036 A1 beschriebenen Techniken. Dabei kann z.B. die

30

Wellenfront lokal rekonstruiert werden. Diese lokale Rekonstruktion der Wellenfront kann alternativ oder zusätzlich zu einer mittels der obenstehend beschriebenen Techniken bestimmten Verkippung der Wellenfront bei der Bestimmung der mindestens einen Aberration berücksichtigt werden. Derart kann die mindestens eine Aberration mit besonders hoher Genauigkeit bestimmt werden. Außerdem kann

bei einer solchen Technik erreicht werden, dass nicht nur eine lokale Verkipfung 261 in einem engen Bereich der Wellenfront 260 in der konjugierten Ebene 139 bestimmt werden kann; vielmehr kann es möglich sein, die geometrische Form der Wellenfront 260 in einem vergleichsweise größeren Bereich in der konjugierten Ebene – welcher dem entsprechenden Winkel 163 der mit dem Defokus-Stapel der weiteren Bilder assoziierten Beleuchtungsrichtung 171 – 173 entspricht – zu bestimmen.

Zusammenfassend wurden voranstehend Techniken beschrieben, die es auf Grundlage der Winkel-variablen Beleuchtung eines Probenobjekts ermöglichen, ein oder mehrere Aberrationen einer Detektionsoptik zu bestimmen. Diese Techniken werden durch einen einfachen und robusten Aufbau ermöglicht. Z.B. kann ein LED-Array als Beleuchtungsmodul zur Implementierung der Winkel-variablen Beleuchtung verwendet werden. Es ist möglich, die Techniken mit einer festen Fokusposition und einer festen Position des Detektors zu implementieren. Dies bedeutet, dass keine beweglichen Teile während der entsprechenden Messung benötigt werden; dies vereinfacht und beschleunigt die Messung. Die hierin beschriebenen Techniken können auch bei vergleichsweise starken Aberrationen verwendet werden; d.h. der Fangbereich ist groß. Eine Erweiterung von bestehenden optischen Vorrichtungen mit einem Beleuchtungsmodul zur Winkel-variablen Beleuchtung ist oftmals einfach möglich. Die Aberrationen können also vor Ort ohne großen Hardware-Aufwand bestimmt werden (engl. on-site measurement). Auch Feldaberrationen können bestimmt werden. Außerdem können Achs- und Feldaberrationen gleichzeitig bestimmt werden. Die hierin beschriebenen Techniken können besonders schnell durchgeführt werden. Außerdem sind die benötigten Rechenschritte vergleichsweise einfach, sodass auch der Rechenaufwand begrenzt ist. Es ist sogar möglich, die Aberrationen mit Standard-Proben – d.h. anderweitig zu vermessenden, a-priori unbekannten Probenobjekten – durchzuführen; es sind nicht notwendigerweise Referenzprobenobjekte mit a-priori bekannter Form erforderlich. Es wäre also möglich, quasi unbekannte Probenobjekte zu verwenden. In einem solchen Zusammenhang kann es möglich sein, einen Abstand zwischen den Positionen der Abbilder des Probenobjekts bei unterschiedlichen Beleuchtungsrichtung mittels Bildverarbeitungstechniken – z.B. Objekterkennung, Landmarkenerkennung, Musterabgleich, etc.. – zu bestimmen. Die kann für unterschiedliche Feldpositionen durchgeführt werden.

Selbstverständlich können die Merkmale der vorab beschriebenen Ausführungsformen und Aspekte der Erfindung miteinander kombiniert werden. Insbesondere können die Merkmale nicht nur in den beschriebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder für sich genommen verwendet werden, ohne das Gebiet der Erfindung zu verlassen.

Beispielsweise wurden voranstehend verschiedene Beispiele in Bezug auf ein Mikroskop beschrieben. Die hierin beschriebenen Techniken können aber auch Anwendung bei anderen optischen Vorrichtungen finden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Optische Vorrichtung (100) mit einem Beleuchtungsmodul (111), einer Detektionsoptik (112) und einem Detektor (114), wobei die optische Vorrichtung (100) umfasst:
- 5 - eine Steuerung (115), die eingerichtet ist, um das Beleuchtungsmodul (111) zum Beleuchten eines Probenobjekts (150) aus mehreren Beleuchtungsrichtungen (171, 172, 173) anzusteuern,
- wobei die Steuerung (115) weiterhin eingerichtet ist, um den Detektor (114)
- 10 zum Erfassen von Bildern (601, 602, 603) anzusteuern, wobei jedes Bild (601, 602, 603) ein durch die Detektionsoptik (112) erhaltenes Abbild (151, 152, 153) des Probenobjekts (150) bei Beleuchtung entlang einer entsprechenden Beleuchtungsrichtung (171, 172, 173) beinhaltet,
- wobei die Steuerung (115) weiterhin eingerichtet ist, um basierend auf den
- 15 Bildern (601, 602, 603) mindestens eine Aberration der Detektionsoptik (112) zu bestimmen.
2. Optische Vorrichtung (100) nach Anspruch 1,
- wobei die Steuerung (115) eingerichtet ist, um für jedes Bild (601, 602, 603)
- 20 die Position (181, 182, 183) des jeweiligen Abbilds (151, 152, 153) des Probenobjekts (150) zu bestimmen,
- wobei die Steuerung (115) eingerichtet ist, um basierend auf den mit den Bildern (601, 602, 603) assoziierten Positionen (181, 182, 183) des jeweiligen Abbilds (151, 152, 153) die mindestens eine Aberration zu bestimmen.
- 25
3. Optische Vorrichtung (100) nach Anspruch 2,
- wobei die Steuerung (115) eingerichtet ist, um basierend auf den mit den Bildern (601, 602, 603) assoziierten Positionen (181, 182, 183) des jeweiligen Abbilds (151, 152, 153) eine Verkipfung (261) eines Bereichs einer Wellenfront (260)
- 30 eines durch die Detektionsoptik (112) definierten Strahlengangs (129) zu bestimmen.
4. Optische Vorrichtung (100) nach Anspruch 3,
- wobei die Steuerung (115) eingerichtet ist, um für jedes Bild (601, 602, 603) die laterale Position (181, 182, 183) des jeweiligen Bereichs der Wellenfront (260)

senkrecht zur optischen Achse (130) der Detektionsoptik (112) und in einer konjugierten Ebene (139) des Strahlengangs (129) basierend auf einem Winkel (163) der entsprechenden Beleuchtungsrichtung (171, 172, 173) zu bestimmen.

- 5 5. Optische Vorrichtung (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Steuerung (115) weiterhin eingerichtet ist, um eine Fokusposition (180) des Probenobjekts (150) zu bestimmen, wobei die Steuerung (115) weiterhin eingerichtet ist, um die mindestens eine Aberration der Detektionsoptik (112) basierend auf der Fokusposition (180) zu
10 bestimmen.
6. Optische Vorrichtung (100) nach Anspruch 5, sowie nach Anspruch 3 oder 4, wobei die Steuerung (115) weiterhin eingerichtet ist, um die Verkipfung (261) unter Berücksichtigung eines Kugelwellen-Beitrags zur Wellenfront (260), der aus der
15 Fokusposition (180) resultiert, zu bestimmen.
7. Optische Vorrichtung (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Steuerung (115) weiterhin eingerichtet ist, um das Probenobjekt (150) vor dem Beleuchten aus den mehreren Beleuchtungsrichtungen (171, 172,
20 173) zu fokussieren.
8. Optische Vorrichtung (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, die weiterhin umfasst:
- einen verstellbaren Probenhalter (113),
25 wobei die Steuerung (115) weiterhin eingerichtet ist, um für zumindest eine Beleuchtungsrichtung (171, 172, 173) den verstellbaren Probenhalter (113) bei unterschiedlichen Fokuspositionen (180) zu positionieren, wobei die Steuerung (115) weiterhin eingerichtet ist, um den Detektor (114) zum Erfassen von weiteren Bildern (601, 602, 603) anzusteuern, wobei jedes weitere
30 Bild (601, 602, 603) ein durch die Detektionsoptik (112) erhaltenes Abbild (151, 152, 153) des Probenobjekts (150) bei einer entsprechenden Beleuchtungsrichtung (171, 172, 173) und einer entsprechenden Fokusposition (180) beinhaltet,

wobei die Steuerung (115) weiterhin eingerichtet ist, um weiterhin basierend auf den weiteren Bildern (601, 602, 603) die mindestens eine Aberration der Detektionsoptik (112) zu bestimmen.

- 5 9. Optische Vorrichtung (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei das Probenobjekt (150) eine Ausdehnung in einer lateralen Ebene (XY) senkrecht zur optischen Achse (130) der Detektionsoptik (112) aufweist, die kleiner als 10 % der Ausdehnung einer Feldblende (204) der Detektionsoptik (112) ist, optional kleiner als 5 %, weiter optional kleiner als 1 %.
- 10 10. Optische Vorrichtung (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Steuerung (115) eingerichtet ist, um die mindestens eine Aberration der Detektionsoptik mit einer Ortsauflösung für mehrere Objektpunkte zu bestimmen.
- 15 11. Verfahren zum Betreiben einer optischen Vorrichtung, das umfasst:
- Ansteuern eines Beleuchtungsmoduls zum Beleuchten eines Probenobjekts (150) aus mehreren Beleuchtungsrichtungen (171, 172, 173),
- Ansteuern eines Detektors (114) zum Erfassen von Bildern (601, 602, 603), wobei jedes Bild (601, 602, 603) ein durch eine Detektionsoptik (112) erhaltenes
20 Abbild (151, 152, 153) des Probenobjekts (150) bei Beleuchtung entlang einer entsprechenden Beleuchtungsrichtung (171, 172, 173) beinhaltet,
- Bestimmen mindestens einer Aberration der Detektionsoptik (112) basierend auf den Bildern (601, 602, 603).
- 25 12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Verfahren von einer optischen Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1-10 durchgeführt wird.

1/5

FIG. 1

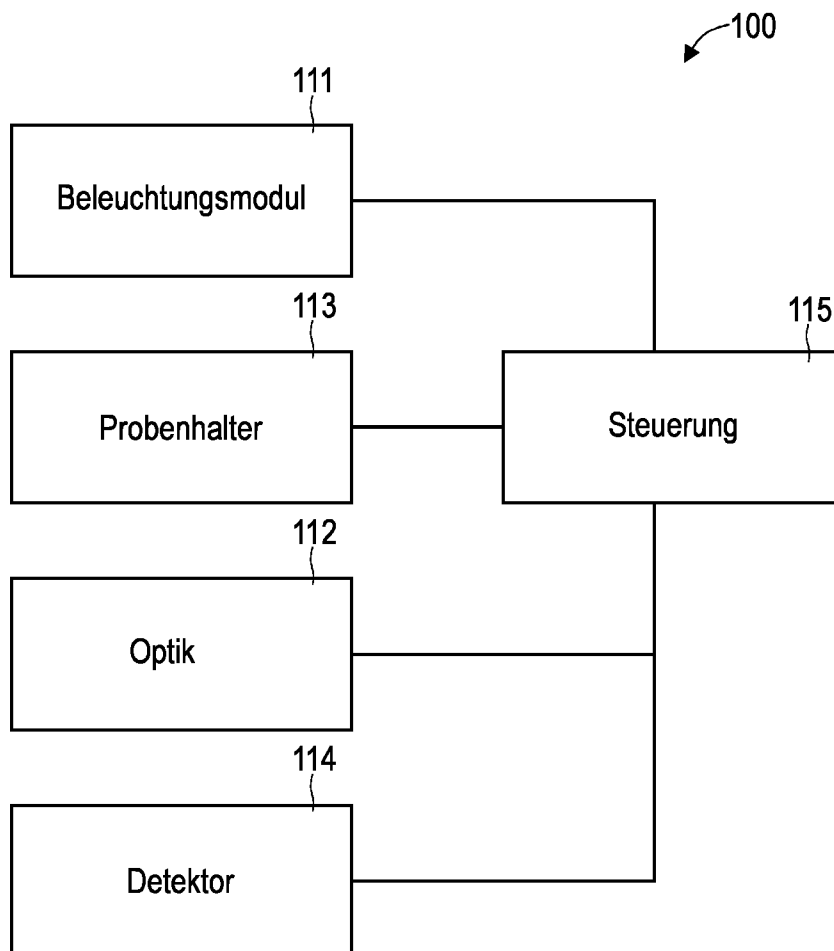
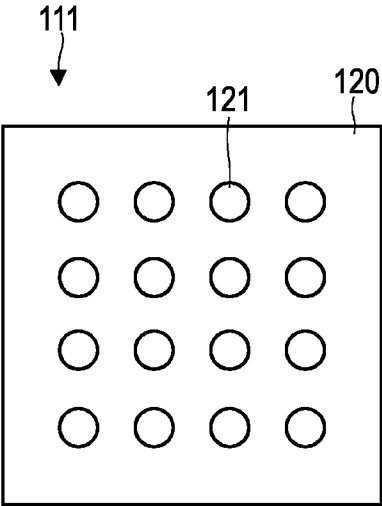
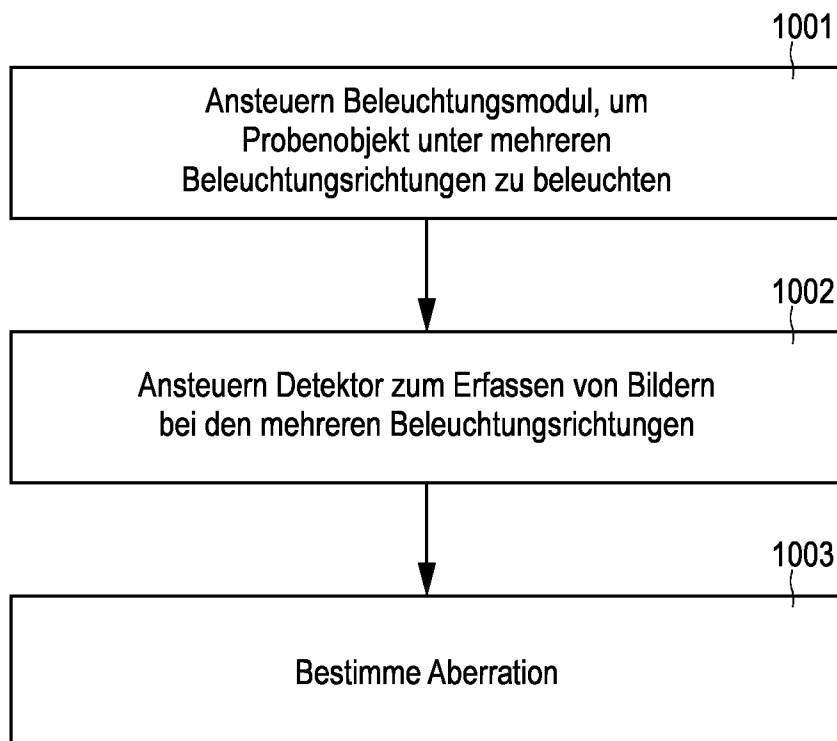


FIG. 2



3/5

FIG. 3



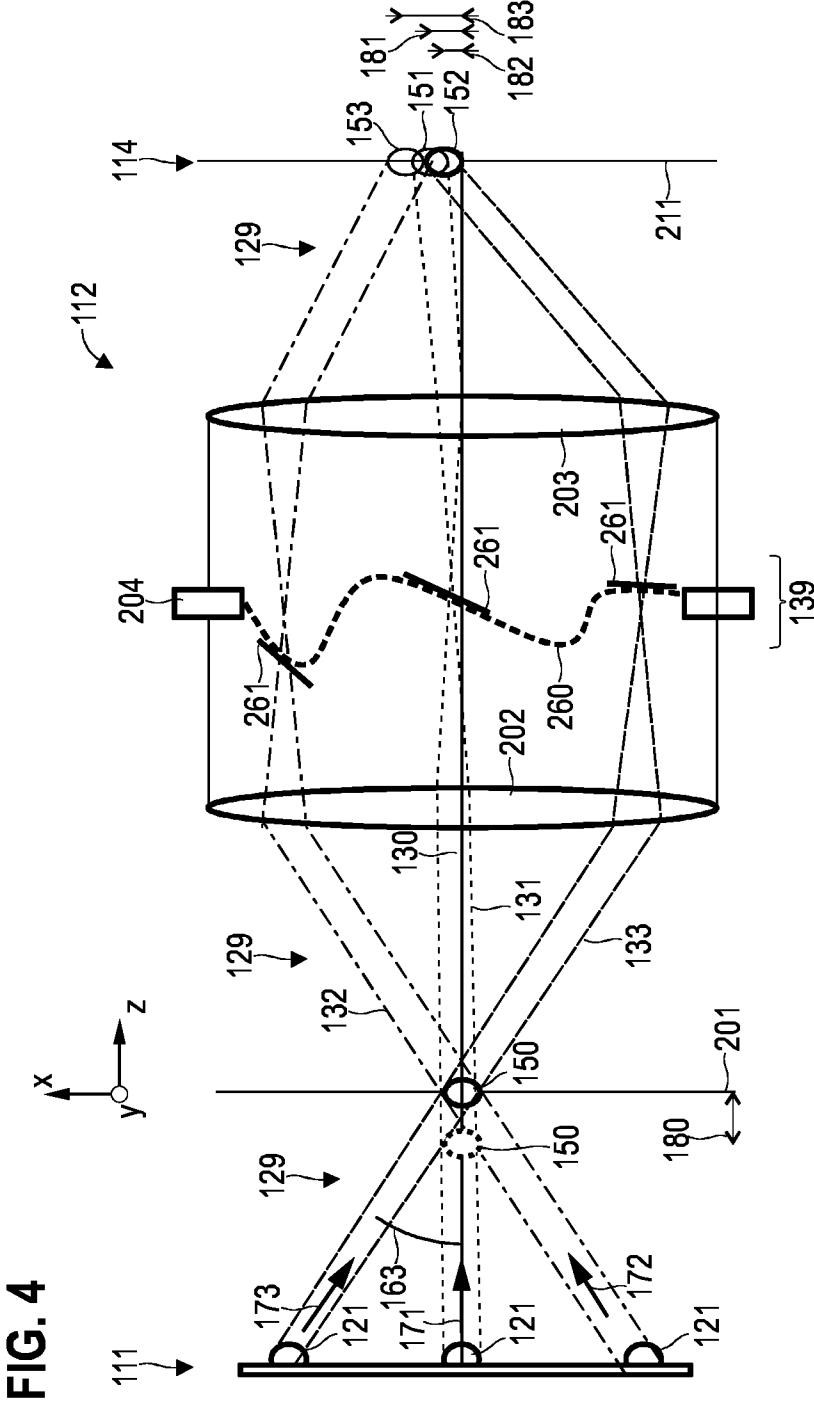
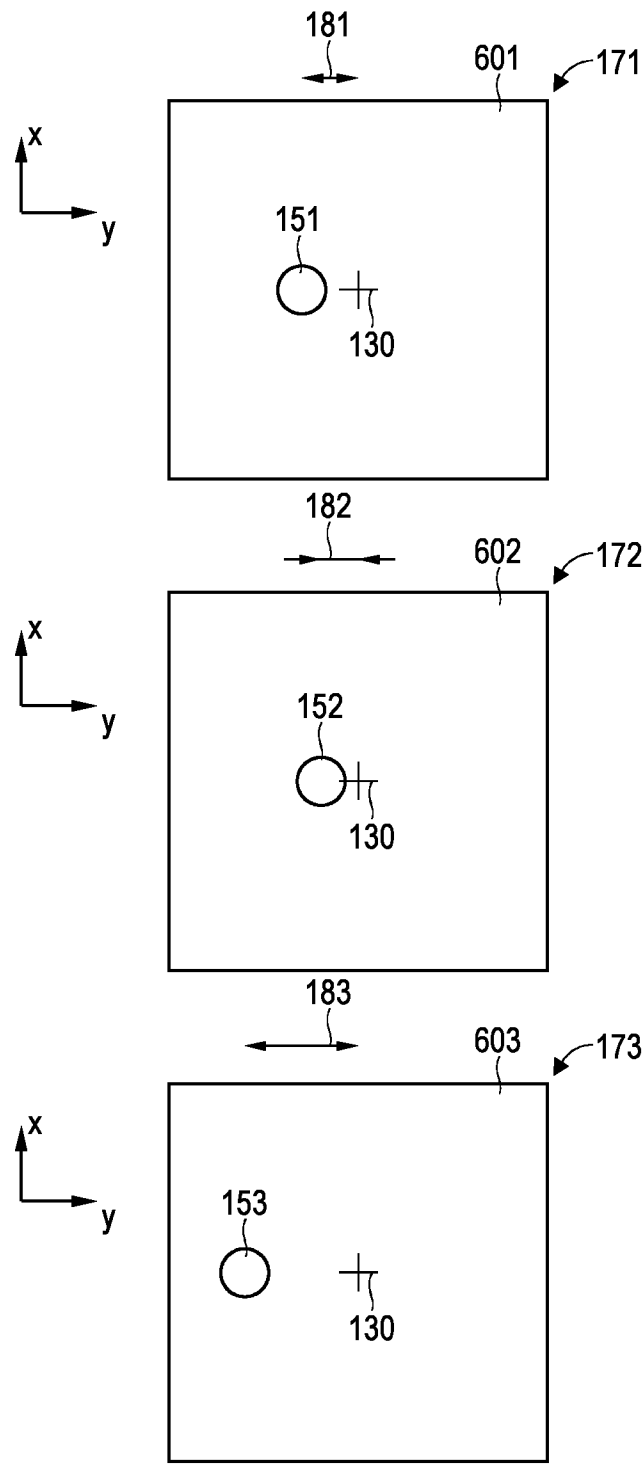


FIG. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/074768

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02B 21/06**(2006.01)i; **G02B 21/24**(2006.01)i; **G02B 21/36**(2006.01)i; **G03F 7/20**(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; G03F

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2016005571 A1 (ZEISS CARL AG [DE]; ZEISS CARL MICROSCOPY GMBH [DE]) 14 January 2016 (2016-01-14) the whole document	1,2,5,7-12
Y	JP 2017054062 A (NIKON CORP) 16 March 2017 (2017-03-16) the whole document	1-12
Y	US 2003117627 A1 (SATO TAKASHI [JP] ET AL) 26 June 2003 (2003-06-26) paragraph [0152] - paragraph [0154]; figure 1 paragraph [0059] - paragraph [0069]	1-12
X	WO 2015179452 A1 (UNIV CALIFORNIA [US]) 26 November 2015 (2015-11-26) paragraph [0023] - paragraph [0032]; figure 1 paragraph [0091] - paragraph [0104]	1,11
X	US 2015160450 A1 (OU XIAOZE [US] ET AL) 11 June 2015 (2015-06-11) cited in the application paragraph [0214] - paragraph [0229]; figure 17	1,11
X	US 2016266366 A1 (CHUNG JAEBUM [US] ET AL) 15 September 2016 (2016-09-15) paragraph [0084] - paragraph [0086]	1,11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 December 2018

Date of mailing of the international search report

17 December 2018

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

Windecker, Robert

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/074768

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102014110302 B3 (ZEISS CARL AG [DE]) 03 September 2015 (2015-09-03) the whole document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/074768

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2016005571	A1	14 January 2016	CN	106662734	A	10 May 2017
				DE	102014109687	A1	14 January 2016
				US	2017167856	A1	15 June 2017
				WO	2016005571	A1	14 January 2016
JP	2017054062	A	16 March 2017	NONE			
US	2003117627	A1	26 June 2003	CN	1417646	A	14 May 2003
				JP	3615181	B2	26 January 2005
				JP	2003142385	A	16 May 2003
				KR	20030038422	A	16 May 2003
				NL	1021853	C2	30 December 2004
				TW	578207	B	01 March 2004
				US	2003117627	A1	26 June 2003
				US	2006061756	A1	23 March 2006
WO	2015179452	A1	26 November 2015	EP	3146501	A1	29 March 2017
				SG	11201607864S	A	28 October 2016
				US	2017146788	A1	25 May 2017
				WO	2015179452	A1	26 November 2015
US	2015160450	A1	11 June 2015	US	2015160450	A1	11 June 2015
				US	2018088309	A1	29 March 2018
US	2016266366	A1	15 September 2016	AU	2016233588	A1	26 October 2017
				CA	2979392	A1	22 September 2016
				CN	107407799	A	28 November 2017
				EP	3268769	A1	17 January 2018
				JP	2018509622	A	05 April 2018
				US	2016266366	A1	15 September 2016
				WO	2016149120	A1	22 September 2016
DE	102014110302	B3	03 September 2015	CN	106716219	A	24 May 2017
				DE	102014110302	B3	03 September 2015
				EP	3172611	A1	31 May 2017
				JP	6377247	B2	22 August 2018
				JP	2017524155	A	24 August 2017
				US	2017205617	A1	20 July 2017
				WO	2016012391	A1	28 January 2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G02B21/06 G02B21/24 G02B21/36 G03F7/20 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G02B G03F		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2016/005571 A1 (ZEISS CARL AG [DE]; ZEISS CARL MICROSCOPY GMBH [DE]) 14. Januar 2016 (2016-01-14) das ganze Dokument	1,2,5, 7-12
Y	JP 2017 054062 A (NIKON CORP) 16. März 2017 (2017-03-16) das ganze Dokument	1-12
Y	US 2003/117627 A1 (SATO TAKASHI [JP] ET AL) 26. Juni 2003 (2003-06-26) Absatz [0152] - Absatz [0154]; Abbildung 1 Absatz [0059] - Absatz [0069]	1-12
X	WO 2015/179452 A1 (UNIV CALIFORNIA [US]) 26. November 2015 (2015-11-26) Absatz [0023] - Absatz [0032]; Abbildung 1 Absatz [0091] - Absatz [0104]	1,11
	-/-	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
7. Dezember 2018		17/12/2018
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Windecker, Robert

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2015/160450 A1 (OU XIAOZE [US] ET AL) 11. Juni 2015 (2015-06-11) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0214] - Absatz [0229]; Abbildung 17 -----	1,11
X	US 2016/266366 A1 (CHUNG JAEBUM [US] ET AL) 15. September 2016 (2016-09-15) Absatz [0084] - Absatz [0086] -----	1,11
A	DE 10 2014 110302 B3 (ZEISS CARL AG [DE]) 3. September 2015 (2015-09-03) das ganze Dokument -----	1-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/074768

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2016005571	A1	14-01-2016	CN 106662734 A	10-05-2017
			DE 102014109687 A1	14-01-2016
			US 2017167856 A1	15-06-2017
			WO 2016005571 A1	14-01-2016

JP 2017054062	A	16-03-2017	KEINE	

US 2003117627	A1	26-06-2003	CN 1417646 A	14-05-2003
			JP 3615181 B2	26-01-2005
			JP 2003142385 A	16-05-2003
			KR 20030038422 A	16-05-2003
			NL 1021853 C2	30-12-2004
			TW 578207 B	01-03-2004
			US 2003117627 A1	26-06-2003
			US 2006061756 A1	23-03-2006

WO 2015179452	A1	26-11-2015	EP 3146501 A1	29-03-2017
			SG 11201607864S A	28-10-2016
			US 2017146788 A1	25-05-2017
			WO 2015179452 A1	26-11-2015

US 2015160450	A1	11-06-2015	US 2015160450 A1	11-06-2015
			US 2018088309 A1	29-03-2018

US 2016266366	A1	15-09-2016	AU 2016233588 A1	26-10-2017
			CA 2979392 A1	22-09-2016
			CN 107407799 A	28-11-2017
			EP 3268769 A1	17-01-2018
			JP 2018509622 A	05-04-2018
			US 2016266366 A1	15-09-2016
			WO 2016149120 A1	22-09-2016

DE 102014110302	B3	03-09-2015	CN 106716219 A	24-05-2017
			DE 102014110302 B3	03-09-2015
			EP 3172611 A1	31-05-2017
			JP 6377247 B2	22-08-2018
			JP 2017524155 A	24-08-2017
			US 2017205617 A1	20-07-2017
			WO 2016012391 A1	28-01-2016
