

(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
26. Juli 2018 (26.07.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/134141 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02B 27/00 (2006.01) G02B 21/36 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/050810

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Januar 2018 (15.01.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 100 904.3
18. Januar 2017 (18.01.2017) DE

(71) Anmelder: CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH
[DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder: GAIDUK, Alexander; Löbichauer Straße 92,
07749 Jena (DE). SERFLING, Thomas; Friedensstraße

57, 07743 Jena (DE). WINTEROT, Johannes; Kornblumenweg 10, 07745 Jena (DE). PUSCH, Volker; Lindenstrasse 11, 73460 Hüttlingen (DE). STEHR, Dominik; Herderstraße 57, 07743 Jena (DE). LASCHKE, Axel; Mackenröderstraße 4, 37136 Waake (DE). KAUFHOLD, Tobias; Fuchsturmweg 15, 07749 Jena (DE). RICHTER, Stephan; Berghoffsweg 6, 07743 Jena (DE). MILDE, Thomas; Dorfstraße 5 B, 07616 Nausnitz (DE).

(74) Anwalt: ENGEL, Christoph; PATENTSCHUTZENGE, Marktplatz 6, 98527 Suhl (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,

(54) Title: IMAGE CONVERSION MODULE FOR A MICROSCOPE AND MICROSCOPE

(54) Bezeichnung: BILDWANDLUNGSMODUL FÜR EIN MIKROSKOP UND MIKROSKOP

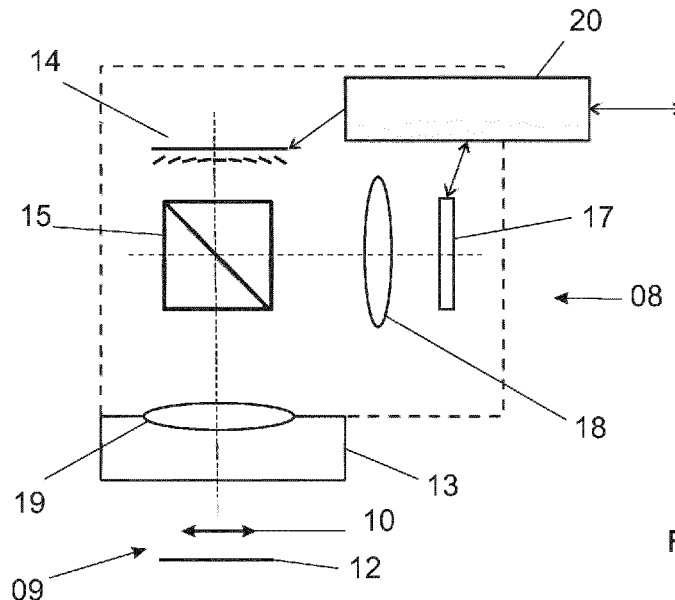


Fig. 2

(57) Abstract: The present invention relates to an image conversion module (08) for a microscope, the image conversion module (08) being designed to convert images using an additional function. Said image conversion module (08) initially comprises at least one functional element (12) for implementing the additional function which is used for recording an extended depth of focus, for producing an optical zoom, for measuring spectral properties, the measuring colour, for measuring polarisation, for measuring wave fronts for measuring material properties and/or for aberration correction. Other components of the image conversion module are at least one image sensor (14), an optical interface (09) which can be optically coupled to a lens of the microscope, a data interface for transmitting the data provided by the image sensor (14), and a mechanical interface (10) for mechanically placing the image conversion module (08) on the microscope. The invention also relates to a microscope comprising said type of image conversion module (08).



ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Bildwandlungsmodul (08) für ein Mikroskop, wobei das Bildwandlungsmodul (08) zur Bildwandlung mit einer Zusatzfunktion ausgebildet ist. Das Bildwandlungsmodul (08) umfasst zunächst mindestens ein Funktionselement (12) zur Realisierung der Zusatzfunktion, welches zur Aufnahme einer erweiterten Schärfentiefe, zur Realisierung eines optischen Zooms, zur Messung von spektralen Eigenschaften, zur Farbmessung, zur Polarisationsmessung, zur Wellenfrontmessung zur Messung von Materialeigenschaften und/oder zur Aberrationskorrektur. Weitere Komponenten des Bildwandlungsmoduls sind mindestens ein Bildsensor (14), eine optische Schnittstelle (09), welche an ein Objektiv des Mikroskops optisch ankoppelbar ist, eine Datenschnittstelle zur Übertragung der von dem Bildsensor (14) ausgegebenen Daten und eine mechanische Schnittstelle (10) zur mechanischen Anbringung des Bildwandlungsmoduls (08) an dem Mikroskop. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Mikroskop mit einem derartigen Bildwandlungsmodul (08).

Bildwandlungsmodul für ein Mikroskop
und Mikroskop

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Bildwandlungsmodul für ein Mikroskop, welches zur Bildwandlung dient und mit einer Zusatzfunktion ausgebildet ist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Mikroskop zum Mikroskopieren einer Probe, welche ein solches Bildwandlungsmodul umfasst.

10

Mikroskopische Anwendungen erfordern häufig eine Bildgebung mit erweiterter Schärfentiefe (EDoF - Extended Depth of Field). EDoF-Funktionalität ermöglicht in der Regel auch eine 3D-Modelrekonstruktion. Bekannte EDoF-Verfahren basieren auf
15 der sogenannten Fokusvariation und der Kontrastauswertung mittels Software. Die Fokusvariation wird üblicherweise mit Hilfe eines Aktuators realisiert, so dass eine Probe in Richtung der optischen Achse abgetastet werden kann. Die für die EDoF-Funktionalität benötigten Komponenten sind bislang
20 zumeist konstruktive und untrennbare Bestandteile von Mikroskopen.

Die DE 197 33 193 A1 zeigt ein Mikroskop mit adaptiver Optik. Bei diesem Mikroskop ist zwischen einem Objektiv und einer
25 Tubuslinse ein transmittierender Wellenfrontmodulator angeordnet. Das Mikroskop kann für eine konfokale Mikroskopie, für eine lasergestützte Mikroskopie, für eine konventionelle Mikroskopie oder für eine analytische Mikroskopie verwendet werden.

30

Die DE 10 2012 017 917 A1 beschreibt ein Mikroskopmodul zum Einbringen in einen Strahlengang eines Lichtmikroskops mit einem Moduleingang zum Einlassen eines Lichtstrahls, einem

Modulaustritt zum Auslassen eines Lichtstrahls und einem Optikträger, an dem verschiedene optische Baugruppen angeordnet sind. Eine verstellbare Umlenkeinrichtung dient zum auswählbaren Umlenken eines von dem Moduleingang kommenden Lichtstrahls auf eine der optischen Baugruppen und zum Umlenken eines von dieser optischen Baugruppe kommenden Lichtstrahls zum Modulaustritt.

Die US 2016/0327779 A1 zeigt ein optisches Bilderzeugungsgerät umfassend einen Strahlteiler, ein erstes und ein zweites Lichtabtastelement, ein Objektiv, eine Beleuchtungsquelle zum Senden von Beleuchtungslicht in das Objektiv über einen ersten optischen Pfad, welcher den Strahlteiler und das erste Lichtabtastelement umfasst. Der Strahlteiler und das erste Lichtabtastelement lenken das Beleuchtungslicht zu einem peripheren Bereich des Objektivs, so dass das Beleuchtungslicht das Objektiv durchläuft und in einem Gewebe eine schräge Abbildungsebene bildet. Das Objektiv leitet von der schrägen Bildgebungsebene zurückgesendetes Licht auf einen zweiten optischen Pfad, der den Strahlteiler und das zweite Lichtabtastelement enthält. Der Strahlteiler und das zweite Lichtabtastelement leiten das zurückgesendete Licht entlang des zweiten optischen Pfades, um eine stationäre geneigte Zwischenbildebene zu bilden. Ein Lichtdetektor erfasst ein Bild der Zwischenbildebene.

Aus der US 7,345,816 B2 ist ein optisches Mikroskop bekannt, welches einen Spiegel mit einer steuerbar veränderlichen kontinuierlichen reflektierenden Oberfläche umfasst. Durch die Veränderung der Oberfläche des Spiegels können Bilder aus unterschiedlichen fokalen Positionen, d. h. aus unterschiedlichen Fokus-Ebenen, aufgenommen werden.

Die US 7,269,344 B2 zeigt eine optische Vorrichtung umfassend ein optisches System mit einem reflektierenden variablen optischen Element, eine Ansteuerungsschaltung zum Ansteuern des optischen Elementes und einen Bildsensor. Eine

5 Recheneinheit ist mit der Ansteuerungsschaltung verbunden. An die Recheneinheit ist ein Bildprozessor angeschlossen. Der Bildprozessor ist ausgestattet mit einer elektronischen Zoom-Funktion. Die Recheneinheit berechnet auf Basis der Daten des Bildsensors und der elektronischen Zoom-Daten ein Steuersignal

10 zum Steuern der Strahlablenkungsfunktion des optischen Elementes. Das optische Element ist bevorzugt als deformierbarer kontinuierlicher Spiegel ausgeführt, welcher eine reflektierende Oberfläche auf einer mehrschichtigen deformierbaren Struktur aufweist. Die mehrschichtige Struktur

15 umfasst eine Elektrodenschicht und ist auf der Oberseite eines Substrates angeordnet. An der Unterseite des Substrates befinden sich Elektroden. Die Elektroden und die Elektrodenschicht sind mit der Ansteuerschaltung verbunden. In Abhängigkeit von der angelegten Spannung kommt es zu

20 unterschiedlichen Deformationen der deformierbaren Struktur und der reflektierenden Oberfläche.

Das am Markt erhältliche Produkt „3D WiseScope microscope“ des Herstellers SD Optics Inc. ermöglicht eine schnelle Erzeugung

25 von makroskopischen und mikroskopischen Bildern, welche eine erweiterte Schärfentiefe aufweisen. Das Produkt umfasst u. a. eine LED-Ringbeleuchtung, eine Koaxialbeleuchtung, eine Durchlichtbeleuchtung, einen Kreutztisch, Objektive mit 5, 10, 20 und 50-facher Vergrößerung sowie eine manuelle

30 Fokussierung. Die Fokussierung kann mit einer Frequenz von 1 bis 10 kHz und mehr verändert werden. Zur Realisierung der EDoF-Funktionalität dient ein als MALS-Modul bezeichnetes Spiegel-Array-Linsensystem. MALS steht für Mirror Array Lens

System. Details dieses Systems sind beispielsweise in der WO 2005/119331 A1 oder WO 2007/134264 A2 offenbart.

Für die schnelle Modulation des Brechungsindex eines Flüssigkeitsbehälters ist das Produkt „TAG Optics lens module“ des Herstellers TAG Optics bekannt, welches Mikroskope mit EDoF-Funktionalität ausstattet. Das Produkt nutzt Schallwellen zur Steuerung von Linsen.

Von der Firma Mejiro Genossen Inc. ist ein optisches Mikroskop verfügbar, welches auf dem geneigten optischen Offner-Spiegelsystem basiert und in Scheimpflug-Anordnung betrieben wird. Das Mikroskop ermöglicht eine deutliche Verbesserung der Schärfentiefe über ein großes Sichtfeld. Die Fokussierungsfähigkeiten dieses Mikroskops sind jedoch schwierig zu steuern. Außerdem müssen bestimmte Abbildungsfehler korrigiert werden.

Weiterhin wurde von der Firma frinGOe ein kompaktes passives Spektrometer entwickelt, welches ein Mach-Zehnder-Interferometer, eine CMOS-Bildverarbeitung und eine FTIR-Spektroskopie miteinander kombiniert.

Vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen wurde eine als POLKA bezeichnete Polarisationskamera entwickelt. Die POLKA erfasst und misst in Echtzeit den Polarisationszustand von Licht. Herzstück der Kamera ist ein nanostrukturierter CMOS-Sensor, bei dem die Polarisationsfilter direkt in den einzelnen Pixeln verankert sind. So kann mit einer einzigen Aufnahme Pixel für Pixel linear polarisiertes Licht erfasst und gemessen werden. Die Pixel-basierten Polarisationsfilter werden in vier verschiedenen Richtungen ausgerichtet (0° , 45° , 90° , 135°), wodurch Lichtwellen unterschiedlicher Polarisation

gleichzeitig erfasst werden können. Durch eine spezielle Verarbeitung der Pixelsignale werden Bewegungsartefakte vermieden. Die aufgenommenen Bilder können auf einen PC übertragen werden. Visualisierungsalgorithmen ermöglichen es,
5 Intensität, Winkel und Grad der Polarisierung für das menschliche Auge sichtbar zu machen.

Schließlich sind Lösungen zur optischen Wellenfrontkodierung bekannt, die eine Phasenmaske in einem Objektiv eines
10 Mikroskops für eine schnelle EDoF-Bildgebung verwenden.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Bildwandlungsmodul für ein Mikroskop zur Verfügung zu stellen, welches zur Ausstattung des Mikroskops mit zusätzlicher
15 Funktionalität zur Bildwandlung dient. Das Bildwandlungsmodul soll aufwandsarm und aufgabenspezifisch an verschiedenen Mikroskopen genutzt werden können. Weiterhin soll ein Mikroskop mit einem derartigen Bildwandlungsmodul bereitgestellt werden.

20 Zur Lösung der erfindungsgemäßen Aufgabe dient ein Bildwandlungsmodul für ein Mikroskop gemäß Anspruch 1 sowie ein Mikroskop gemäß dem beigefügten nebengeordneten Anspruch 10.

25 Das erfindungsgemäße Bildwandlungsmodul ist zur Bildwandlung mit einer Zusatzfunktion ausgebildet. Das Bildwandlungsmodul umfasst dazu mindestens ein Funktionselement zur Realisierung der Zusatzfunktion, welches zur Aufnahme einer erweiterten
30 Schärfentiefe, zur Realisierung eines optischen Zooms, zur Messung von spektralen Eigenschaften, zur Farbmessung, zur Polarisationsmessung, zur Wellenfrontmessung zur Messung von Materialeigenschaften und/oder zur Aberrationskorrektur dient.

Eine weitere Komponente des Bildwandlungsmoduls ist mindestens ein Bildsensor. Eine optische Schnittstelle des Bildwandlungsmoduls dient zur optischen Ankopplung des Bildwandlungsmoduls an ein Objektiv des Mikroskops

5 Vorrichtung. Zur Übertragung der von dem Bildsensor ausgegebenen Daten ist das Bildwandlungsmodul mit einer Datenschnittstelle ausgestattet. Eine mechanische Schnittstelle dient zur lösbaren Anbringung des Bildwandlungsmoduls an dem Mikroskop, sodass dieses im
10 Bedarfsfall an das Mikroskop anbringbar und auch wieder entfernbare ist.

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Bildwandlungsmoduls besteht darin, dass mit dessen Hilfe ein
15 Mikroskop auf einfache Art und Weise mit zusätzlicher Funktionalität zur Bildgebung ausgestattet werden kann. Erfindungsgemäß werden die zur Realisierung der Zusatzfunktion benötigten Komponenten insbesondere mit dem Bildsensor zu einer eigenständigen Baueinheit zusammengefasst. Zum
20 Anschließen des Bildwandlungsmoduls an das Mikroskop kann eine an dem Mikroskop bereits vorhandene, zum Anschließen von Foto- und Videokameras dienende, mechanische Standardschnittstelle genutzt werden. In der Schnittstelle bestimmen der Abstand und die Größe von einem mittels des Mikroskops erzeugten
25 Zwischenbild und einer Pupille der Schnittstelle die Anschlussbedingungen für das Bildwandlungsmodul. Das Bildwandlungsmodul kann problemlos von dem Mikroskop entfernt werden und beispielsweise durch ein andersartig ausgeführtes Bildwandlungsmodul mit anderer Zusatzfunktion ersetzt werden.
30 Für verschiedene Anwendungsfälle können somit Bildwandlungsmodule mit unterschiedlichen Funktionselementen zur Realisierung verschiedener Zusatzfunktionen vorgehalten werden, die dann je nach Bedarf an das Mikroskop angebaut

werden können. Das Mikroskop kann daher aufwandsarm an den jeweiligen Bedarf angepasst werden. Das Bildwandlungsmodul kann mehrere Funktionselemente zur Bereitstellung mehrerer Zusatzfunktionen umfassen.

5

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das mindestens eine Funktionselement ein aktives optisches Element. Ein aktives optisches Element im Sinne der Erfindung ist ein optisches Element, welches die Eigenschaften des optischen Strahlenganges aktiv verändert. Das optisch aktive Element ist vorzugsweise aus der nachfolgenden Liste ausgewählt: ein optischer Aktuator, eine Flüssigkeitslinse, eine durch mechanische Schwingungen, vorzugsweise mittels Schallwellen, vorzugsweise steuerbare Linse, ein Interferometer-Array, vorzugsweise ein passives Interferometer-Array, ein Fabry-Perot-Element, beispielsweise ein aktiv gesteuertes Fabry-Perot-Element, eine Phasenmaske, eine Polarisationsmaske, ein räumlicher Lichtmodulator. Das Bildwandlungsmodul kann bevorzugt mehrere aktive optische Elemente unterschiedlicher Art aufweisen.

10

15

20

Eine vorteilhafte Ausführungsform des Bildwandlungsmoduls nutzt einen optischen Aktuator, welcher als ein Mikrosystem mit mechanisch beweglichen Mikrospiegeln zur Aufnahme einer erweiterten Schärfentiefe ausgebildet ist. In dieser Ausführungsform kann beispielsweise das oben beschriebene „MALs-Modul“ der Firma SD Optics Inc. als optischer Aktuator Verwendung finden. Ein MALs-Modul kann beispielsweise als Fresnel-Linse ausgebildet sein, wie dies beispielsweise in der WO 2005/119331 A1 beschrieben ist. Diese Fresnel-Linse wird aus einer Vielzahl von Mikrospiegeln gebildet. Durch eine Veränderung der Lage der Mikrospiegel kann auf sehr schnelle Weise die Brennweite der Fresnel-Linse verändert werden. Diese

25

30

schnelle Veränderung der Brennweite erlaubt eine sehr schnelle Einstellung der abzubildenden Fokusebene. So wird es ermöglicht, in kurzer Zeit eine Vielzahl von Aufnahmen in benachbarten Fokusebenen aufzunehmen. Eine derartige Folge von Bildern, welche in unterschiedlichen Fokusebenen aufgenommen wurden, wird auch als Fokus-Stapel bezeichnet. Aus einem Fokus-Stapel kann ein Bild mit erweiterter Schärfentiefe ermittelt werden.

Gemäß einer weitergebildeten Ausführungsform ist zwischen der optischen Schnittstelle und dem Mikrosystem ein Strahlteiler angeordnet.

Als zweckmäßig hat es sich erwiesen, das Bildwandlungsmodul mit einem Spiegelsystem auszustatten. Das Spiegelsystem umfasst einen Konkavspiegel und einen dem Konkavspiegel gegenüberliegend angeordneten Konvexspiegel. Der Konvexspiegel ist als optisch aktives Element ausgebildet. Der Konkavspiegel und der Konvexspiegel sind vorzugsweise senkrecht zu einer Bildebene ausgerichtet. Alternativ können der Konkavspiegel und der Konvexspiegel auch parallel zu der Bildebene ausgerichtet sein.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Spiegelsystem weiterhin einen zwischen der optischen Schnittstelle und dem Konkavspiegel angeordneten ersten Planspiegel, welcher zum Umlenken von Strahlen in Richtung des Konkavspiegels winklig zur Bildebene ausgerichtet ist. Die auf den ersten Planspiegel auftreffenden Strahlen werden vorzugsweise um 90° umgelenkt. Zwischen Konkavspiegel und dem Bildsensor ist ein zweiter Planspiegel angeordnet, welcher zum Umlenken von Strahlen in Richtung des Bildsensors winklig zur Bildebene ausgerichtet ist. Die auf den zweiten Planspiegel auftreffenden Strahlen werden vorzugsweise um 90° umgelenkt.

Durch Variation des Konvexspiegels, welcher als optisch aktives Element ausgebildet ist, verschieben sich die Fokusse, d. h. die Fokusebenen, entlang der Hauptstrahlen und bilden unterschiedliche Objektiefen auf dem Bildsensor ab. Die dabei
5 durch das Mikroskop hervorgerufenen Abbildungsfehler werden durch angepasste Deformation des optisch aktiven Elements kompensiert. Weicht der Hauptstrahlverlauf im Objektraum von der Telezentrie ab, wird das Objekt mit variierendem Abbildungsmaßstab auf den Sensor abgebildet. Diese
10 Ausführungsform des Bildwandlungsmoduls kann zusätzlich zu ihrer Verwendung als Bildwandlungsmodul auch als eigenständiges Mikroskop genutzt werden.

Nach einer vorteilhaften Ausführungsform können in das
15 Spiegelsystem weitere Funktionselemente, beispielsweise zur Realisierung spektraler Messungen oder Farbmessungen, integriert sein.

Zur Realisierung von Materialeigenschaftsmessungen, wie zum
20 Beispiel zur Temperaturmessung, zum Erfassen elastischer Eigenschaften u. ä, umfassen die Funktionselemente vorzugsweise die für die jeweilige Messung erforderlichen sensorischen Elemente.

25 Die Funktionselemente beinhalten gemäß einer bevorzugten Ausführungsform mindestens einen mechanischen Aktuator, welcher bevorzugt zum Verschieben eines optischen Bauelements dient.

30 Das Bildwandlungsmodul weist gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform mindestens eine elektronische Steuereinheit zum Steuern der Funktionselemente und des Bildsensors auf. Die

Steuereinheit ist an die jeweils verwendeten Funktionselemente sowie an die jeweils genutzten optischen Elemente angepasst.

Als zweckmäßig hat es sich erwiesen, das Bildwandlungsmodul mit einer internen Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der von dem Bildsensor erfassten Daten auszustatten.

Alternativ oder ergänzend kann das Bildwandlungsmodul auch eine Schnittstelle zur Übertragung der von dem Bildsensor erfassten Daten bzw. der von der internen

Datenverarbeitungseinheit verarbeiteten Daten an eine externe Datenverarbeitungseinheit aufweisen.

Das Bildwandlungsmodul besitzt zweckmäßigerweise eine Energieversorgungseinheit oder alternativ eine elektrische Schnittstelle zur Stromversorgung des Bildwandlungsmoduls aus einer externen Quelle.

Das erfindungsgemäße Mikroskop umfasst zunächst ein Objektiv zum optischen Abbilden einer Probe in einer Bildebene. Durch das Objektiv ist ein Bild mit einer optischen Auflösung in der Bildebene darstellbar. Die optische Auflösung ist durch die physikalischen Vorgänge und die Eigenschaften des Objektivs bestimmt. Das Mikroskop umfasst weiterhin das erläuterte Bildwandlungsmodul, welches über seine optische Schnittstelle an das Objektiv optisch angekoppelt ist. Das Bildwandlungsmodul ist weiterhin über seine mechanische Schnittstelle mit dem Mikroskop mechanisch verbunden.

Das Mikroskop weist bevorzugt eine Mikroskopbeleuchtung zur Beleuchtung der zu mikroskopierenden Probe auf. Die Mikroskopbeleuchtung umfasst vorzugsweise eine Durchlichtbeleuchtung, eine Ringbeleuchtung und eine

Koaxialbeleuchtung, die alternativ oder gemeinsam zum Beleuchten der Probe eingesetzt werden können.

Weitere Einzelheiten und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen, unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Mikroskops;

Fig. 2: eine erste bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Bildwandlungsmoduls zur Aufnahme einer erweiterten Schärfentiefe;

Fig. 3: ein Spiegelsystem des Bildwandlungsmoduls;

Fig. 4: eine zweite bevorzugte Ausführungsform des Bildwandlungsmoduls zur Aufnahme einer erweiterten Schärfentiefe;

Fig. 5: eine dritte bevorzugte Ausführungsform des Bildwandlungsmoduls für spektrale Messungen.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Mikroskops 01. Mit dem Mikroskop 01 kann eine Probe 02 mikroskopiert werden. Das Mikroskop 01 umfasst eine Durchlichtbeleuchtung 03, eine Ringbeleuchtung 04 und eine Koaxialbeleuchtung 05, die alternativ oder gemeinsam zum Beleuchten der Probe 02 dienen. Das Mikroskop 01 beinhaltet weiterhin ein Objektiv 07 und ein Bildwandlungsmodul 08, welches über eine optische Schnittstelle 09 optisch an das Objektiv 07 angekoppelt ist. In der optischen Schnittstelle 09 bestimmen der Abstand und die Größe von einem mittels des Mikroskops 01 erzeugten Zwischenbild 10 und einer Pupille 12

der optischen Schnittstelle 09 die Anschlussbedingungen für das Bildwandlungsmodul 08. Das Bildwandlungsmodul 08 ist zur Bildwandlung mit einer oder mehreren Zusatzfunktionen ausgebildet. Bevorzugte Ausführungsformen des

5 Bildwandlungsmoduls 08 werden nachfolgend mit Bezug auf die Fig. 2 bis 5 näher erläutert

Fig. 2 zeigt eine erste bevorzugte Ausführungsform des Bildwandlungsmoduls 08 zur Aufnahme einer erweiterten

10 Schärfentiefe. Das Bildwandlungsmodul 08 umfasst die optische Schnittstelle 09 mit der Pupille 12 über welche das Bildwandlungsmodul 08 an das Objektiv 07 des Mikroskops 01 optisch angekoppelt ist. Zur mechanischen Befestigung des Bildwandlungsmoduls 08 an einem Gehäuse (nicht dargestellt)

15 des Mikroskops 01 dient eine mechanische Schnittstelle 13.

Das Bildwandlungsmodul 08 umfasst weiterhin ein Funktionselement 14 zur Realisierung der Zusatzfunktion, welche in der gezeigten Ausführung in der Aufnahme einer

20 erweiterten Schärfentiefe besteht. Das Funktionselement 14 ist zur Realisierung dieser Zusatzfunktion als Mikrosystem mit beweglichen Mikrospiegeln zur Messung einer Tiefeninformation der Probe 02 ausgebildet. Das Mikrosystem mit den beweglichen Mikrospiegeln ist über einen Strahlteiler 15 rückreflektierend

25 angeordnet. Das Funktionselement 14 ist konjugiert zu der Pupille 12 der optischen Schnittstelle 09 angeordnet.

Ein weiterer Bestandteil des Bildwandlungsmoduls 08 ist ein Bildsensor 17. Der Strahlteiler 15 rückreflektiert das vom

30 Funktionselement 14 reflektierte Licht zum Bildsensor 17. Der Bildsensor 17 dient zum Wandeln eines von dem Objektiv 07 auf den Bildsensor 17 mittelbar oder unmittelbar abgebildeten Bildes. Durch Variation des Funktionselementes 14 verschieben

sich die Fokusse entlang der Hauptstrahlen und bilden unterschiedliche Objektiefen auf dem Bildsensor 17 ab. Gleichzeitig korrigiert das Funktionselement 14 Aberrationen in der Bildebene.

5

Außerdem kann das Funktionselement 14 ausschließlich für Aberrationskorrekturen genutzt werden, ohne Fokussierung. Sofern das das Funktionselement 14 nicht zur Fokussierung genutzt wird, kann es alternativ verwendet werden, um

10

Änderungen im Maßstab der Abbildung von nicht telezentrischen Optiken zu korrigieren. Weicht der Hauptstrahlverlauf im Objektraum von der Telezentrie ab, wird das Objekt aus unterschiedlichen Entfernungen mit variierendem Abbildungsmaßstab auf den Sensor abgebildet.

15

Zwischen dem Bildsensor 17 und dem Strahlteiler 15 ist optional eine Tubuslinse 18 angeordnet. Ein optionales Bildwandlungsmodulobjektiv 19 befindet sich in der gezeigten Ausführungsform zwischen der optischen Schnittstelle 09 und dem Strahlteiler 15.

20

Das Bildwandlungsmodul 08 beinhaltet weitere Komponenten 20 zur Energieversorgung, zur Datenverarbeitung und für Steuerungsaufgaben. Die weiteren Komponenten 20 sind in Fig. 2 zusammengefasst als eine Einheit dargestellt, können jedoch aus verschiedenen, voneinander baulich getrennten, Einheiten bestehen. Zu diesen weiteren Komponenten 20 gehört eine Energieversorgungseinheit oder alternativ eine elektrische Schnittstelle zur Stromversorgung des Bildwandlungsmoduls 08.

30 Die Energieversorgungseinheit kann beispielsweise durch Batterien, welche vorzugsweise aufladbar sind, realisiert sein. Die weiteren Komponenten 20 beinhalten bevorzugt eine interne Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der von dem

Bildsensor 17 erfassten Daten. Das Bildwandlungsmodul 08 kann jedoch alternativ oder ergänzend auch mit einer Schnittstelle zur Übertragung der von dem Bildsensor 17 erfassten Daten bzw. der von der Datenverarbeitungseinheit verarbeiteten Daten an
5 eine externe Datenverarbeitungseinheit ausgestattet sein. Die weiteren Komponenten 20 umfassen vorzugsweise auch mindestens eine elektronische Steuereinheit zum Steuern des Funktionselementes 14 und des Bildsensors 17.

10 Fig. 3 zeigt ein Spiegelsystem 22 des Bildwandlungsmoduls 08 mit eingezeichnetem Strahlengang. Das Spiegelsystem 22 umfasst einen Konkavspiegel 23 und einen dem Konkavspiegel 23 gegenüberliegend angeordneten Konvexspiegel 24. Der Konvexspiegel 24 ist als optisch aktives Element ausgebildet,
15 welches vorzugsweise als das Mikrosystem mit beweglichen Mikrospiegeln realisiert ist. Weiterhin ist der Konvexspiegel 24 konjugiert zur Pupille 12 der optischen Schnittstelle 09 angeordnet. Um Platz für das reale optisch aktive Element zu schaffen, weicht der Aufbau vom klassischen Offner-System ab.
20 Der Konkavspiegel 23 und der Konvexspiegel 24 sind senkrecht zu einer Bildebene 25 ausgerichtet. Zwischen der optischen Schnittstelle 09 und dem Konkavspiegel 23 ist ein erster Planspiegel 27 angeordnet, welcher zum Umlenken von Strahlen in Richtung des Konkavspiegels 23 winklig zur Bildebene 25
25 ausgerichtet ist. Die auf den ersten Planspiegel 27 auftreffenden Strahlen werden in der gezeigten Ausführung um 90° umgelenkt. Zwischen dem Konkavspiegel 23 und dem Bildsensor 17 ist ein zweiter Planspiegel 28 angeordnet, welcher zum Umlenken von Strahlen in Richtung des Bildsensors
30 17 winklig zur Bildebene 25 ausgerichtet ist. Die auf den zweiten Planspiegel 28 auftreffenden Strahlen werden in der gezeigten Ausführung um 90° umgelenkt. Durch Variation des Konvexspiegels 24, verschieben sich die Fokusse, d. h. die

abzubildenden Fokusebenen, entlang der Hauptstrahlen und bilden unterschiedliche Objektiefen auf dem Bildsensor 17 ab. Gleichzeitig korrigiert der Konvexspiegel 24 Aberrationen in der Bildebene. Ebenso kann der Konvexspiegel 24 ausschließlich für Aberrationskorrekturen ohne Fokussierung genutzt werden. Wenn alternativ der Konvexspiegel 24 nicht für die Fokussierung genutzt wird, so kann er für die Korrektur bei auftretenden Änderungen im Maßstab der Abbildung von nicht telezentrischen Optiken verwendet werden.

Die in Fig. 3 gezeigte Ausführungsform des Bildwandlungsmoduls 08 kann als eigenständiges Mikroskop genutzt werden. In das Spiegelsystem 22 können weitere Funktionselemente integriert sein. So können beispielsweise Funktionselemente, für spektrale Messungen oder Farbmessungen, in dem Spiegelsystem 22 an geeigneten Stellen angeordnet sein.

Fig. 4 zeigt eine zweite bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Bildwandlungsmoduls 08 zur Aufnahme einer erweiterten Schärfentiefe. Im Unterschied zu der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform beinhaltet das Funktionselement 14 hier eine durch mechanische Schwingungen, vorzugsweise mittels Schallwellen, steuerbare Linse. Das Zwischenbild 10 des Mikroskops 01 konjugiert zu der Objektebene des Bildwandlungsmodulobjektivs 19. Das Funktionselement 14 konjugiert zu der Pupille 12 der optischen Schnittstelle 09.

Fig. 5 zeigt eine dritte bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Bildwandlungsmoduls 08 für spektrale Messungen. Das Funktionselement 14 umfasst ein Interferometer-Array. Hierbei kann beispielsweise das von der Firma fingGOe entwickelte passive Spektrometer zum Einsatz kommen. Das Interferometer-Array kann in den optischen Weg eingeführt und

entfernt werden, so dass der Benutzer zwischen den Funktionen Bildaufnahme oder spektrale Messungen umschalten kann.

Weiterhin besteht die Möglichkeit der Anordnung weiterer Funktionselemente 14. So kann ein aktives Fabry-Perrot-Element für spektrale Messungen mit hoher räumlicher Auflösung bis hin zur einzelnen Pixel-Auflösung Verwendung finden. Für Messungen mit erweiterter Schärfentiefe können eine Phasenmaske oder ein räumlicher Lichtmodulator in die Anordnung integriert werden.

Die Nutzung einer Polarisationsmaske für Polarisations-

messungen mit hoher räumlicher Auflösung ist ebenso möglich.

Bezugszeichenliste

	01 -	Mikroskop
	02 -	Probe
5	03 -	Durchlichtbeleuchtung
	04 -	Ringbeleuchtung
	05 -	Koaxialbeleuchtung
	06 -	-
	07 -	Objektiv
10	08 -	Bildwandlungsmodul
	09 -	optische Schnittstelle
	10 -	Zwischenbild des Mikroskops
	11 -	-
	12 -	Pupille der optischen Schnittstelle
15	13 -	mechanische Schnittstelle
	14 -	Funktionselement
	15 -	Strahlteiler-
	16 -	-
	17 -	Bildsensor
20	18 -	Tubuslinse
	19 -	Bildwandlungsmodulobjektiv
	20 -	weitere Komponenten (Energieversorgung, Datenverarbeitung, Steuerung)
	21 -	-
25	22 -	Spiegelsystem
	23 -	Konkavspiegel
	24 -	Konvexspiegel
	25 -	Bildebene
	26 -	-
30	27 -	erster Planspiegel
	28 -	zweiter Planspiegel

Patentansprüche

1. Bildwandlungsmodul (08) für ein Mikroskop, umfassend folgende Komponenten:

- mindestens einen Bildsensor (17);

5 - mindestens ein Funktionselement (14) zur Realisierung einer der folgenden Zusatzfunktionen,

- Durchführung von Aufnahmen mit einer erweiterten Schärfentiefe,

- Realisierung eines optischen Zooms,

10 • Messung von spektralen Eigenschaften,

- Farbmessung,

- Polarisationsmessung,

- Wellenfrontmessung zur Messung von Materialeigenschaften, und/oder

15 • Aberrationskorrektur;

- eine optische Schnittstelle (09), welche an ein Objektiv des Mikroskops optisch ankoppelbar ist;

- eine Datenschnittstelle zur Übertragung der von dem Bildsensor (17) ausgegebenen Daten; und

20 - eine mechanische Schnittstelle (13) zur lösbaren Anbringung des Bildwandlungsmoduls (08) an dem Mikroskop.

2. Bildwandlungsmodul (08) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Funktionselement (14) ein aktives optisches Element ist, welches aus der nachfolgenden Liste ausgewählt ist:

- ein optischer Aktuator,

- eine Flüssigkeitslinse,

- eine durch mechanische Schwingungen steuerbare Linse,

- ein Interferometer-Array,

30 - ein Fabry-Perot-Element,

- eine Phasenmaske,
- eine Polarisationsmaske,
- ein räumlicher Lichtmodulator.

3. Bildwandlungsmodul (08) nach Anspruch 2, dadurch
5 gekennzeichnet, dass der optische Aktuator als ein
Mikrosystem mit mechanisch beweglichen Mikrospiegeln zur
Aufnahme einer erweiterten Schärfentiefe ausgebildet ist.
4. Bildwandlungsmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass es ein Spiegelsystem (22) mit
10 einem Konkavspiegel (23) und einem dem Konkavspiegel (23)
gegenüberliegend angeordneten, als optisch aktives Element
ausgebildeten Konvexspiegel (24) umfasst.
5. Bildwandlungsmodul (08) nach Anspruch 4, dadurch
gekennzeichnet, dass das Spiegelsystem (22) weiterhin,
15 einen zwischen der optischen Schnittstelle (09) und dem
Konkavspiegel (23) angeordneten ersten Planspiegel (27),
und einen zwischen Konkavspiegel (23) und dem Bildsensor
(17) angeordneten zweiten Planspiegel (28) umfasst, wobei
der erste Planspiegel (27) zum Umlenken von Strahlen in
20 Richtung des Konkavspiegels (23) winklig zur Bildebene (25)
ausgerichtet ist, und wobei der zweite Planspiegel (28) zum
Umlenken von Strahlen in Richtung des Bildsensors (17)
winklig zur Bildebene (25) ausgerichtet ist.
6. Bildwandlungsmodul (08) nach Anspruch 4 oder 5, dadurch
25 gekennzeichnet, dass der Konvexspiegel (24) als das
Mikrosystem mit den mechanisch beweglichen Mikrospiegeln
ausgebildet ist.

7. Bildwandlungsmodul nach einem der Ansprüche 4 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass der erste und der zweite
Planspiegel (27, 28) derart ausgerichtet sind, dass auf die
Planspiegel (27, 28) treffende Strahlen um 90° umgelenkt
werden.
8. Bildwandlungsmodul (08) nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass es eine interne
Datenverarbeitungseinheit (20) zur Verarbeitung der von dem
Bildsensor (17) erfassten Daten aufweist und/oder eine
Schnittstelle zur Übertragung der von dem Bildsensor (17)
erfassten Daten und/oder der von der internen
Datenverarbeitungseinheit verarbeiteten Daten an eine
externe Datenverarbeitungseinheit aufweist.
9. Bildwandlungsmodul (08) nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass es eine
Energieversorgungseinheit (20) oder eine elektrische
Schnittstelle zur Stromversorgung aufweist.
10. Mikroskop (01) mit einem Objektiv (07) und einem an das
Objektiv (07) optisch angekoppelten Bildwandlungsmodul (08)
gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9.

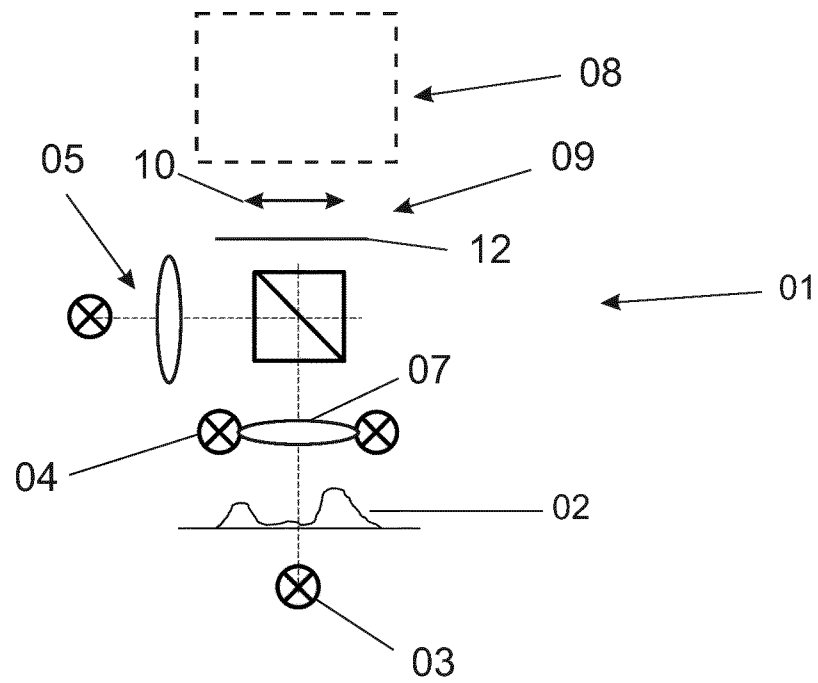


Fig. 1

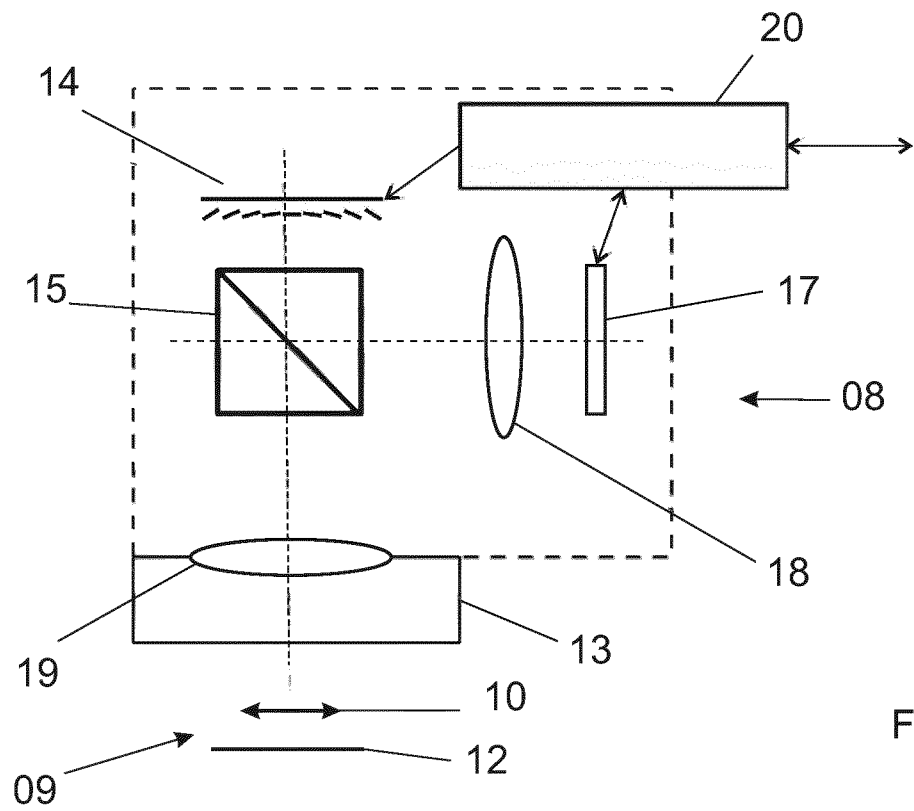


Fig. 2

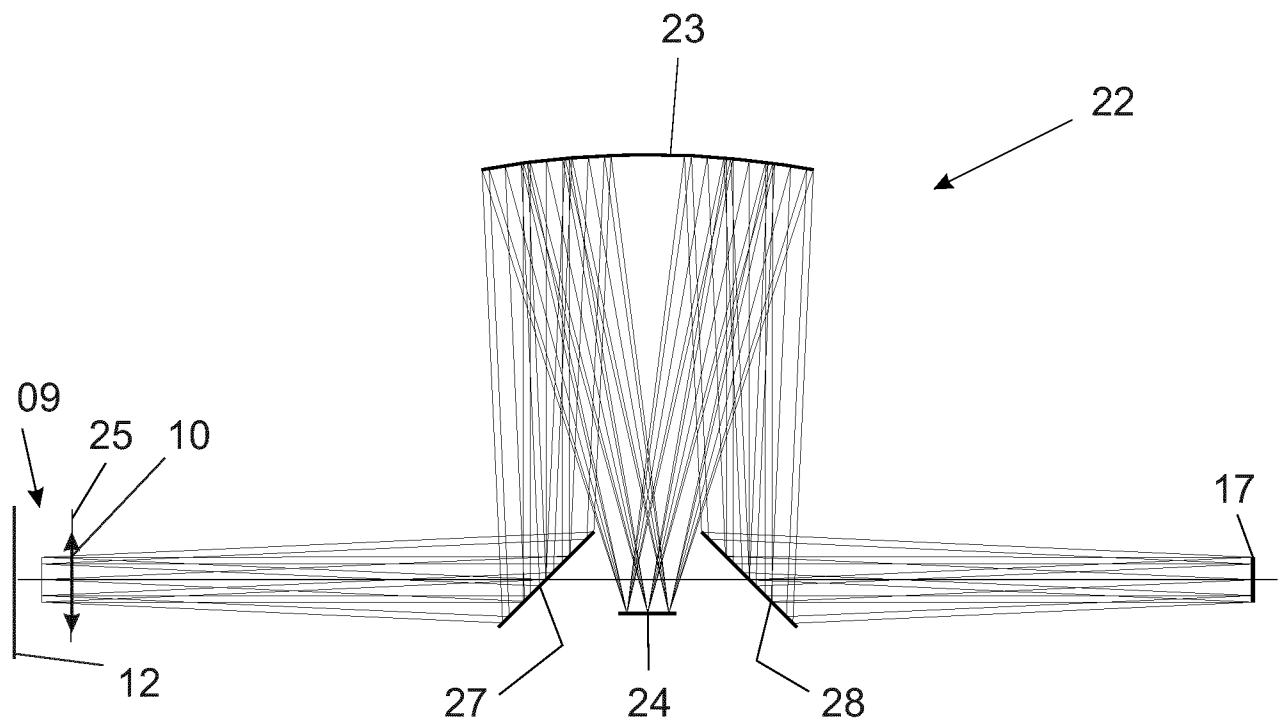


Fig. 3

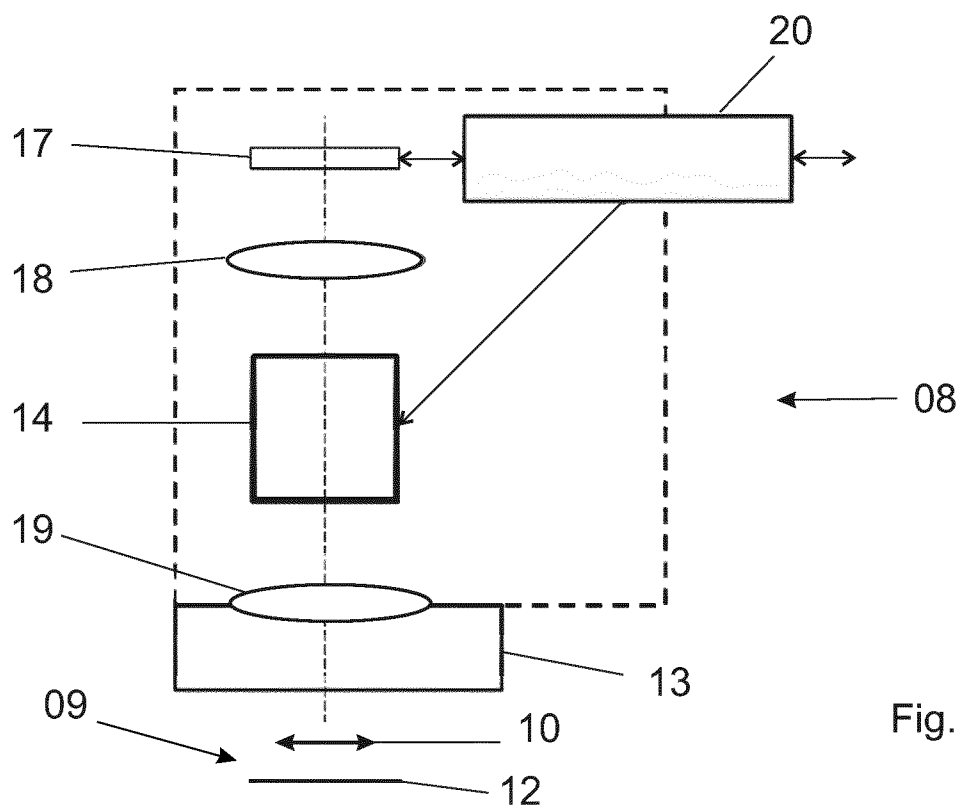


Fig. 4

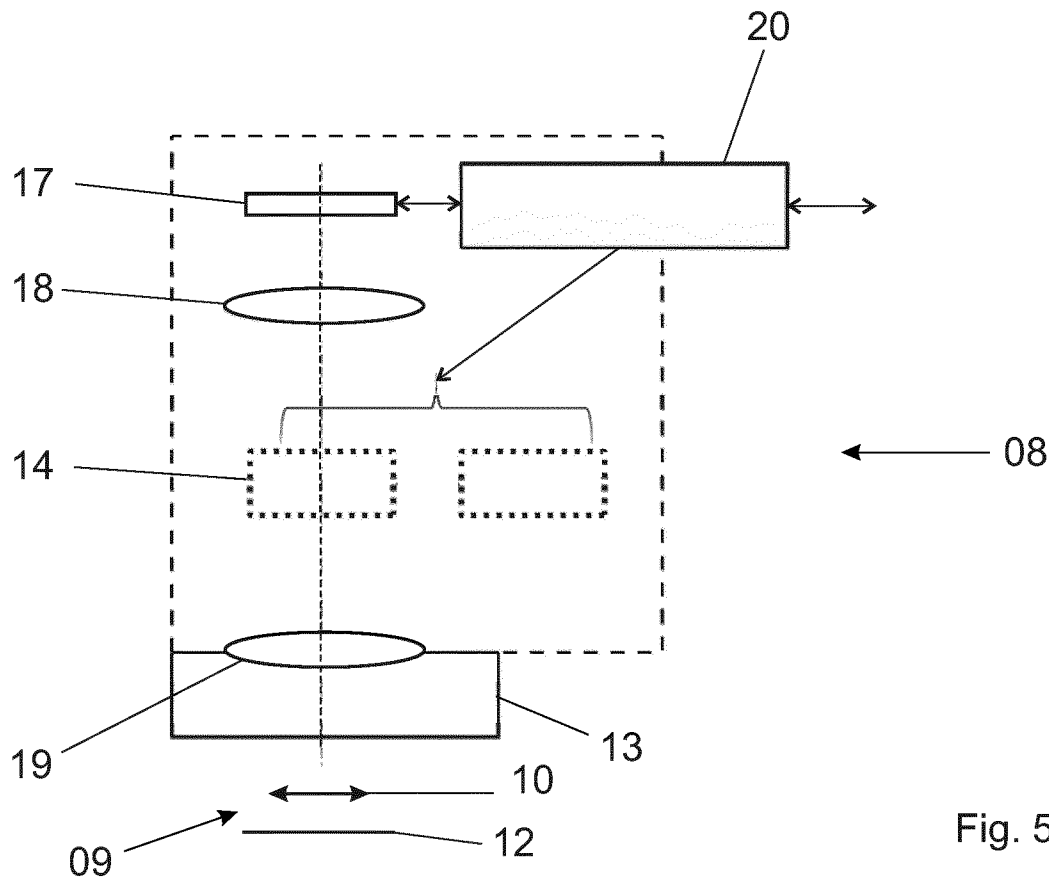


Fig. 5