

(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
18. November 2010 (18.11.2010)

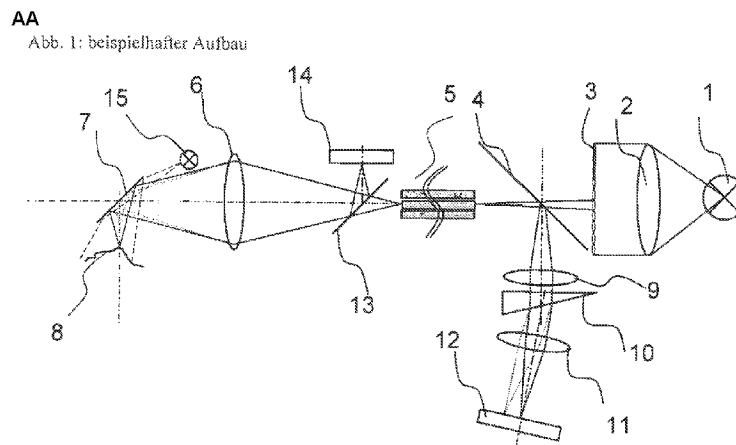
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/130843 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 11/24 (2006.01) *A61B 5/00* (2006.01)
G02B 21/00 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/056755
- (22) Internationales Anmeldedatum:
17. Mai 2010 (17.05.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2009 025 815.9 15. Mai 2009 (15.05.2009) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DEGUDENT GMBH** [DE/DE]; Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **STOCK, Karl** [DE/DE]; Im Käppeleswasen 12, 73479 Ellwangen (DE). **ZINT, Michael** [DE/DE]; Brucknerweg 16, 89075 Ulm (DE). **GRASER, Rainer** [DE/DE]; Platzgasse 13, 89073 Ulm (DE). **HIBST, Raimund** [DE/DE]; Töpferweg 6, 89155 Erbach (DE).
- (74) Anwalt: **STOFFREGEN, Hans-Herbert**; Friedrich-Ebert-Anlage 11b, 63450 Hanau (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND MEASURING ARRANGEMENT FOR THE THREE-DIMENSIONAL MEASUREMENT OF AN OBJECT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN SOWIE MESSANORDNUNG ZUM DREIDIMENSIONALEN MESSEN EINES OBJEKTES



AA exemplary design

(57) Abstract: Method for measuring the shape of at least one section of an object (8), in particular a semi-transparent object such as at least one section of a tooth, using a light source (1) for generating light with preferably a broadband spectrum in a device (3) for generating a multifocal illumination pattern, a lens (6) with a large chromatic aberration for imaging foci of the illumination pattern onto the object, and a detection device (12) for determining the wavelength spectra of the foci confocally imaged onto the object via the lens, wherein a spectral peak position of each focus is determined from the respective wavelength spectrum, from which position the extent of the object in the direction of the imaging beam (Z coordinate) is calculated, wherein the multifocal illumination pattern is formed via optical waveguides (5) arranged between the light source (1) and the lens (6) with a large chromatic aberration, wherein the lens (6) images object-side ends of the optical waveguides onto the object and images light remitted by the object onto the object-side ends of the optical waveguides, and wherein light guided and remitted by the optical waveguides is guided to the detection device (12). In order to make it possible to carry out highly accurate measurements with structurally simple measures, wherein the intention is to

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2010/130843 A1



IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderun-
gen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

enable both the best possible distribution of measuring points on the sample and optimum spectrum distribution in the detection device, provision is made for the object-side illumination pattern to be formed via the optical waveguides (5) in such a manner that an object-side distribution of measuring points is independent of an illumination-side and detection-side microlens or pinhole distribution.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Messen der Form zumindest eines Abschnitts eines Objekts (8), insbesondere eines semi-transparenten Objekts wie zumindest Abschnitts eines Zahns unter Verwendung einer Lichtquelle (1) zur Erzeugung von Licht mit vorzugsweise einem breitbandigen Spektrum einer Einrichtung (3) zur Erzeugung eines multifokalen Beleuchtungsmusters, eines Objektivs (6) mit großer chromatischer Aberration zur Abbildung von Foki des Beleuchtungsmusters auf das Objekt einer Detektoreinrichtung (16) zur Ermittlung der Wellenlängenspektren der konfokal über das Objektiv auf das Objekt abgebildeten Foki, wobei aus dem jeweiligen Wellenlängenspektrum spektrale Peaklage eines jeden Fokus bestimmt wird, aus der die Erstreckung des Objekts in Richtung des Abbildungs Strahls (Z-Koordinate) berechnet wird, wobei das multifokale Beleuchtungsmuster über zwischen der Lichtquelle (1) und dem Objektiv (6) großer chromatischer Aberration angeordnete Lichtleiter (5) gebildet wird, wobei das Objektiv (6) objektseitige Enden der Lichtleiter auf das Objekt und von dem Objekt remittiertes Licht auf die objektseitigen Enden der Lichtleiter abbildet und wobei durch die Lichtleiter geleitetes und remittiertes Licht auf die Detektoreinrichtung (12) gelenkt wird. Um zu erreichen, dass mit konstruktiv einfachen Maßnahmen hochpräzise gemessen werden kann, wobei sowohl eine bestmögliche Messpunkteverteilung auf der Probe als auch eine optimale Spektrumverteilung in der Detektoreinrichtung ermöglicht werden soll, ist vorgesehen, dass das objektseitige Beleuchtungsmuster derart über die Lichtleiter (5) gebildet wird, dass eine objektseitige Messpunkteverteilung von einer beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Mikrolinsen- bzw. Pinholeverteilung unabhängig ist.

Beschreibung

Verfahren sowie Messanordnung zum dreidimensionalen Messen eines Objekts

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Messen der Form zumindest eines Abschnitts eines Objekts, insbesondere eines semitransparenten Objekts wie zumindest Abschnitts eines Zahns, unter Verwendung einer Lichtquelle zur Erzeugung von Licht mit vorzugsweise einem breitbandigen Spektrum, eine Einrichtung zur Erzeugung eines multifokalen Beleuchtungsmusters, eines Objektivs mit großer chromatischer Aberration zur Abbildung von Foki des Beleuchtungsmusters auf das Objekt, eine Detektiereinrichtung zur Ermittlung der Wellenlängenspektren der konfokal über das Objektiv auf das Objekt abgebildeten Foki, wobei aus dem jeweiligen Wellenlängenspektrum spektrale Peaklage eines jeden Fokus bestimmt wird, aus der die Erstreckung des Objekts in Richtung des Abbildungsstrahls (Z-Koordinate) berechnet wird, wobei das multifokale Beleuchtungsmuster über zwischen der Lichtquelle und dem Objektiv großer chromatischer Aberration angeordnete Lichtleiter erzeugt wird, wobei das Objektiv objektseitige Enden der Lichtleiter auf das Objekt und von dem Objekt remittiertes Licht auf die objektseitigen Enden der Lichtleiter abbildet und wobei durch die Lichtleiter geleitetes remittiertes Licht auf die Detektiereinrichtung gelenkt wird.

Ferner nimmt die Erfindung Bezug auf eine Messanordnung zum dreidimensionalen Messen von zumindest einem Teil eines Objekts, insbesondere eines semitransparenten Objekts wie Zahns oder Abschnitts eines solchen, umfassend eine Lichtquelle mit einem kontinuierlichen, insbesondere breitbandigen Spektrum, eine Einrichtung zur Erzeugung eines multifokalen Beleuchtungsmusters, ein Objektiv mit großer chromatischer Aberration zur Abbildung von Foki des Beleuchtungsmusters auf das Objekt, eine Detektiereinheit wie Kamera-Chip zur Ermittlung der Wellenlängenspektren der über das Objektiv auf das Objekt abgebildeten Foki sowie eine spektraldispersive Einrichtung, auf die von dem Objekt remittiertes Licht über das Objektiv abbildbar ist, wobei zwischen der Lichtquelle und dem Objektiv das Beleuchtungsmuster erzeugende Lichtleiter angeordnet sind, deren objektseitige Enden in einer Abbildungsebene oder einen Abbildungs-

ebenen umfassenden Bereich des Objektivs angeordnet sind, wobei zwischen den beleuchtungsseitigen Enden der Lichtleiter und der Detektiereinrichtung eine Umlenkeinrichtung für das aus dem Lichtleiter austretende und von dem Objekt remittierte Licht angeordnet ist.

In vielen Bereichen der Technik stellt sich die Aufgabe, die dreidimensionale Struktur von Körpern zu messen. Beispielhaft sei hier die Bestimmung der Zahnform genannt, die zur Anfertigung von Zahnersatz notwendig ist. Hier sind vor allem Verfahren vorteilhaft, die das Anfertigen eines Gipsabdrucks erübrigen. In der Literatur sind eine Reihe von Verfahren zur Erfassung der dreidimensionalen Struktur von Körpern beschrieben. Bei den optischen Verfahren sind unter anderem die Streifenprojektionsverfahren bzw. Phasenschiftverfahren, die optische Kohärenzthomographie und die Holographie zu nennen. Ein zur intraoralen Zahnform-Erfassung käufliches System basiert beispielsweise auf dem Phasenschiftverfahren.

Gerade auf wenig kooperativen Körpern, wie sie beispielsweise der Zahn aufgrund seiner starken Volumenstreuung darstellt, versagen die genannten Verfahren vielfach. Bei den Streifenprojektionsverfahren führt beispielsweise die Streuung zu einer Unschärfe der Streifen und damit zu einer verminderten Auflösung.

Alternativ wird zur Abbildung des Fokus bzw. der Foki einer breitbandigen Lichtquelle eine geeignete Optik mit stark wellenlängenabhängiger Brennweite verwendet. Dadurch werden die Foki abhängig von der Wellenlänge in unterschiedlichen Abständen zum Objektiv scharf abgebildet. Nach rückwärtiger Abbildung der Foki über das Objektiv in das Pinhole bzw. Pinhole-Array ist für die Wellenlänge, die bei diesem Probenabstand scharf abgebildet wird, ein Intensitätsmaximum detektierbar. Durch Bestimmung der spektralen Peaklage lässt sich dann der Abstand der Probe zum Objektiv in diesem Punkt und damit letztendlich die dreidimensionale Struktur des Körpers bestimmen. Diese Auswertung erfolgt entweder punktweise über ein Spektrometer oder linienweise über ein Linienspektrometer mit Kamera-Chip. Gerade die Multifoki-Anordnung, vorzugsweise mit Mikrolinsen-Array und angepasstem Pinhole-Array, ist wegen des geringen zu erwartenden Zeitbedarfs für die Bildaufnahme besonders vielversprechend.

In der DE-A-10 2006 007 172, WO-A-2007/090865 und DE-A-10 2007 019 267 sind unterschiedliche Anordnungen nach diesem Prinzip beschrieben. Allen gemeinsam ist, dass alle Komponenten in einem Gerät integriert sind. Lediglich in der DE-A-10 2007 019 267 wird eine mögliche Zufuhr der Lichtquelle über Lichtleiter beschrieben. Gerade bei Messungen am Zahn, wo einerseits der zur Verfügung stehende (Mund-)Raum begrenzt ist und der Zahnarzt das Gerät manuell führen muss, ist ein möglichst kompaktes und leichtes Handstück mit möglichst wenigen Komponenten wünschenswert. Ein weiterer Nachteil der beschriebenen Anordnungen ist die feste Zuordnung des Mikrolinsen- und Pinhole-Musters auf der einen Seite und der Messpunktverteilung probenseitig, was sowohl ein Kompromiss für die bestmögliche Messpunktverteilung auf der Probe als auch für die Spektrenverteilung auf dem Kamera-Chip darstellt.

Aus der EP-B-0 321 529 ist eine Messanordnung zur Messung der Abstände zwischen einem Objektiv mit großer chromatischer Aberration und einem Objekt bekannt. Zur Detektion wird eine Schwarz-Weiß-CCD-Flächenkamera benutzt, der eine spektraldispersive Apparatur vorgeordnet ist, die einen Eingangsspalt aufweist. Hierdurch wird die Wellenlängeninformation für jeden Punkt in eine Ortsinformation umgesetzt, um ein Profilbild der Oberfläche des Objekts zu gewinnen.

Die EP-B-0 466 979 bezieht sich auf eine Anordnung zur simultanen konfokalen Bilderzeugung. Hierzu werden über eine Lochrasterblende wie Nipkow-Scheibe Lichtpunkte erzeugt, die fokussiert auf ein Objekt abgebildet werden. Als Detektereinheit wird eine CCD-Array-Kamera benutzt.

Aus der DE-A-102 42 374 ist ein konfokaler Abstandssensor mit einer Abbildungsoptik mit chromatischer Aberration bekannt, der für die Inspektion im Elektronikbereich bestimmt ist. Als Lichtquelle kann eine solche mit einer Mehrzahl von Punktlichtquellen benutzt werden. Als Lichtempfänger gelangen Punktdetektoren zum Einsatz, wobei jeweils ein Punktdetektor und eine Punktlichtquelle einander zugeordnet und konfokal zueinander angeordnet sind.

Aus der DE-A-103 21 885 ist eine konfokale Messanordnung zum dreidimensionalen Messen eines Objekts mit chromatischer Tiefenaufspaltung bekannt, bei der mittels eines Mikrolinsen-Arrays eine Vielzahl von Foki erzeugt und auf das Objekt abgebildet werden. Das reflektierte Licht wird in die Ebene der Mikrolinsenfoki zurückfokussiert. Mit der Anordnung werden zwei- oder dreidimensionale Mikroprofile von Messobjekten oder zwei- oder dreidimensionale Transparenz- oder Reflexionsprofile gemessen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Messanordnung und ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass mit konstruktiv einfachen Maßnahmen hochpräzise gemessen werden kann, wobei sowohl eine bestmögliche Messpunkteverteilung auf der Probe als auch eine optimale Spektrumverteilung in der Detektierereinrichtung ermöglicht werden soll. Auch soll zum Messen, insbesondere bei einem Intraoral-messen, eine kompakte Anordnung zur Verfügung gestellt werden, die ein einfaches Handhaben ermöglicht.

Zur Lösung der Aufgabe sieht eine Messanordnung der eingangs genannten Art vor, dass die objektseitigen Enden der Lichtleiter derart angeordnet sind, dass objektseitig eine Messpunkteverteilung abbildbar ist, die von einer beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Mikrolinsen- bzw. Pinholeverteilung unabhängig ist.

Verfahrensmäßig zeichnet sich die Erfindung grundsätzlich dadurch aus, dass eine unterschiedliche objektseitige Anordnung der Enden der Lichtleiter (5) und beleuchtungs- bzw. detektionsseitige Anordnung der Enden der Lichtleiter erzeugt wird, damit eine objektseitige Messpunkteverteilung von einer beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Mikrolinsen- bzw. Pinholeverteilung unabhängig ist.

Durch die erfindungsgemäße Lehre wird die Möglichkeit geschaffen, Auswerteteil und Messteil voneinander zu trennen, da durch die erfindungsgemäße Verwendung von Lichtleitern eine Schnittstelle zur Verfügung gestellt wird, die weitgehend längenunabhängig ist.

Dies bedeutet, dass Messteil und Auswerteteil über Lichtleiter verbunden sein können, die in den einzelnen Baugruppen enden.

Des Weiteren wird erfindungsgemäß eine Messpunkteverteilung verwendet, die nicht zwingend mit den Mikrolinsen- bzw. Pinholeverteilung übereinstimmen muss, so dass infolgedessen eine einfache Auswertung möglich ist.

Wesentliche Elemente der erfindungsgemäßen Messanordnung sind folglich

- eine Beleuchtungseinheit, in der das Licht einer geeigneten Lichtquelle in die Lichtleiter eingekoppelt wird
- ein Element zur Trennung von Beleuchtungsstrahlengang und Detektionsstrahlengang
- ein Lichtleiterbündel mit einer geeigneten beleuchtungs- und detektionsseitigen räumlichen Anordnung der Lichtleiter und einer geeigneten probenseitigen Anordnung der Lichtleiter
- ein Objektiv mit starker chromatischer Aberration zur Abbildung der Lichtleiterenden auf das Messobjekt und zur Abbildung des vom Messkörper remittierten Lichts auf die Lichtleiterenden
- einer Farbmesseinheit zur Bestimmung der jeweiligen Peak-Lage und damit des Abstands des Messpunkts zum Objektiv.

Diese Farbmesseinheit besteht vorzugsweise aus einem dispersiven Element zur spektralen Aufspreizung des Lichts eines jeden Lichtleiters entlang einer Linie und einem Kamera-Chip, auf welchen die spektral aufgespreizten Messpunkte abgebildet werden. Die beleuchtungs- und detektionsseitige Anordnung der Lichtleiter ist so gewählt, dass einerseits eine möglichst effiziente Lichteinkopplung aus der Lichtquelle und andererseits eine möglichst effiziente räumliche Ausnutzung des Kamera-Chips gewährleistet ist. Aufgrund der erfindungsgemäßen Lehre besteht die Möglichkeit, eine große Anzahl von Lichtleitern zu verwenden und damit möglichst viele Messpunkte mit ausreichender spektraler Genauigkeit vermessen zu können.

Die Anordnung der Lichtleiter im Handstück und damit auf der Messkörperseite ist so gewählt, dass man, in Verbindung mit einer nachfolgenden Überlagerung von Einzelbildern, eine möglichst vorteilhafte Verteilung der Messpunkte auf dem Messkörper erhält.

Ist der Abstand der Stützstellen größer als die geforderte Auflösung, wird das Beleuchtungsmuster entsprechend verschoben werden. Dies kann entweder durch ein geeignetes Element im Gerät erfolgen, oder durch kontinuierliche Bewegung des Messgerätes, wobei die resultierenden Einzelbilder in geeigneter Weise zu einem Gesamtbild zusammenzufügen sind.

Insbesondere ist vorgesehen, dass das Licht auf die beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Enden der Lichtleiter linienförmig fokussiert wird. Hierdurch wird auch das remittierte Licht linienförmig auf die Detektiereinrichtung abgebildet mit der Folge, dass eine Auswertung nicht nur vereinfacht, sondern präzisiert wird.

Die linienförmige Fokussierung erfolgt insbesondere über Zylinderlinsen.

Als Lichtquellen werden insbesondere breitbandige Lichtquellen wie Halogenlampen, Xenonlampen und vor allem LEDs, entweder Weißlicht-LEDs oder RGD-LEDs verwendet. Dabei besteht die Möglichkeit, die Lichtleiter moduliert, gepulst oder geblitzt zu bestrahlen. Infolgedessen kann in Verbindung mit einer zur Lichtquelle synchronisierten Detektion eine effiziente Störlichtunterdrückung erreicht werden.

Ferner besteht die Möglichkeit, mehrere Lichtquellen zu verwenden, wodurch die Gesamtlichtmenge erhöht wird. Die räumliche Anordnung der einzelnen Lichtquellen kann dabei auf die räumliche Anordnung der Lichtleiter angepasst sein.

Bevorzugterweise wird als Detektiereinrichtung eine Farbkamera verwendet. Je nach Anforderung an die Messgenauigkeit ist entweder eine Ein-Chip-Farbkamera, eine Drei-Chip-Farbkamera oder eine Farbkamera mit Filterrad-Technologie zu verwenden.

Nach einem eigenerfinderischen Vorschlag ist vorgesehen, dass die Lichtleiter beleuchtungs- bzw. detektionsseitig in Reihen bzw. Linien angeordnet sind. Die Lichtleiter werden sodann quasi verdrillt, so dass probenseitig eine gleichmäßige Verteilung der Lichtleiter erfolgt. Ungeachtet dessen ist eine korrekte Messung möglich, in dem durch Kalibrieren eine Zuordnung der probendseitigen Position der einzelnen Lichtleiter mit dem beleuchtungsseitigen Enden erfolgt.

Des Weiteren zeichnet sich die Erfindung insbesondere dadurch aus, dass zur Verminderung des Untergrundanteils für eine Einzelmessung jeweils nur ein Teil wie die Hälfte der Lichtleiter für die eigentliche Messung, der andere Teil, der nicht beleuchtet wird, zur Untergrundmessung herangezogen wird. Die Variation der Beleuchtung kann beispielsweise entweder über einen LCD-Modulator oder einen variierenden Strahlversatz einer verkippbaren Glasplatte erfolgen. Die Lichtleiter einer Linie dienen bei einer Einzelmessung entweder jeweils alle zur Abstandsmessung oder zur Untergrundmessung.

Des Weiteren sieht die Erfindung vor, dass die Messanordnung eine das Objekt bestrahlende zweite Lichtquelle aufweist. Dabei kann der Spektralbereich der zweiten Lichtquelle außerhalb des Wellenlängenbereichs der zur Messung verwendeten Lichtquelle liegen. Hierdurch besteht die Möglichkeit, ein Live-Bild zu erzeugen.

Zur Erzeugung eines Live-Bilds ist auch die Integration eines Kamera-Chips mit einem Objektiv in Betracht zu ziehen. Entsprechende Bauelemente sind sodann in dem Teil der Messanordnung integriert, mit der gemessen wird, also üblicherweise einem Handgeräteteil, das über die Lichtleiter mit einer Auswerteeinheit verbunden ist.

Die Erfindung betrifft folglich eine Vorrichtung zur Vermessung der dreidimensionalen Form von Körpern mit insbesondere

- a) einer Lichtquelle zur Erzeugung von Licht mit einem breitbandigen Spektrum
- b) einer Optik zur Einkopplung des Lichts in ein Lichtleiterbündel
- c) einem Lichtleiterbündel

- d) einem Objektiv mit großer chromatischer Aberration zur Abbildung der Auskoppelenden der Lichtleiter auf den zu vermessenden Körper und zur rückwärtigen Abbildung des von dem Körper remittierten Lichts in die Auskoppelenden der Lichtleiter
- e) einer Farbmesseinheit zur simultanen Aufnahme des Wellenlängenspektrums jeden Lichtleiters
- f) einer Auswerteeinheit zur Bestimmung der spektralen Peaklage in jedem Fokus, aus der letztendlich der Abstand der jeweiligen Stelle zum Objektiv und damit die dreidimensionale Struktur des Körpers bestimmt wird.

Die Erfindung betrifft ferner ein mit einer solchen Vorrichtung durchführbares Messverfahren.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen -für sich und/oder in Kombination -, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von bevorzugten Ausführungsbeispielen und insbesondere den nachstehenden ergänzenden Erläuterungen.

Es zeigen:

Abb. 1 eine Ausführungsform einer beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Anordnung von Lichtleitern und

Abb. 2a, 2b Anordnungen von Lichtleitern.

Nachstehend werden wesentliche Merkmale der Erfindung erläutert, um die Form eines Objekts zu messen. Dabei wird als Beispiel ein Zahn angegeben, ohne dass hierdurch die erfindungsgemäße Lehre eingeschränkt wird.

Unabhängig hiervon nimmt die Erfindung ausdrücklich auf die Offenbarung der Internationalen Anmeldung WO 2008/129073 (PCT/EP2008/054982) der Anmelderin Bezug. Die in dieser Anmeldung offenbarten Merkmale insbesondere in Bezug auf die

Auswertung von Spektren und die Anordnung der zur Messung benötigten Komponenten sind als in der vorliegenden Anmeldung offenbart zu betrachten, ohne dass es nachstehend insoweit weiterer Hinweise bedarf.

In Abb. 1 ist beispielhaft eine bevorzugte Ausführungsform zur Vermessung von Zähnen dargestellt. Als Weißlichtquelle dient hier eine Halogen-Lampe 1, deren Licht über eine Linse 2 kollimiert wird.

Der kollimierte Lichtstrahl fällt auf eine Anordnung von z.B. 10 Zylinderlinsen 3 und anschließend auf einen Strahlteiler 4. Der transmittierte Lichtanteil wird folglich zu zehn Linien fokussiert und wird dort beispielsweise in 2000 Lichtleiter 5 eingekoppelt, die zu je 200 Lichtleiter pro Linie angeordnet sind.

Die messkörperseitige Anordnung der Lichtleiter 5 bzw. der Teile dieser in einem Handstück entspricht beispielsweise einem regelmäßigen quadratischen Muster von 40 x 50 Messpunkten mit einem Messpunkteabstand von 220µm und einer Ausdehnung des Messfelds von ca. 8.6mm x 10.8mm.

Die Abbildung der Lichtleiterenden auf die Messprobe 8 erfolgt über das Objektiv 6 mit starker chromatischer Abhängigkeit der Brennweite und die Strahlumlenkung 7. Dabei befinden sich die Enden der Lichtleiter 5 in einer Abbildungsebene bzw. in Abbildungsebenen des Objektivs 6, die einen Bereich bilden.

Durch die starke chromatische Aberration des Objektivs 6 wird in dem jeweiligen Messpunkt, entsprechend dem Abstand von Messpunkt zu Objektiv 6, nur eine bestimmte Farbe scharf abgebildet, d.h. nur eine bestimmte Wellenlänge erfüllt die konfokale Bedingung. Mit anderen Worten weisen die Foki bildenden abgebildeten objektseitigen Enden der Lichtleiter 5 Licht unterschiedlicher Wellenlängen auf, wobei bei einer Wellenlänge das objektseitige Ende auf dem Objekt 6 scharf abgebildet ist und somit die konvokale Bedingung erfüllt. Entsprechend fällt bei der rückwärtigen Abbildung des von der Messprobenoberfläche remittierten Lichts nur der spektrale Anteil vorzugswei-

se in den Lichtleiter 5, der scharf abgebildet wird, d.h. bei dem die konfokale Bedingung erfüllt ist.

Der gewählte Abbildungsmaßstab des Objektivs 6 bestimmt dabei die Größe des Messfelds und die Auflösung.

Mit zunehmender Dichte der Messpunkte und mit zunehmender Lichtstreuung des Messobjekts 8 fällt neben der Peakwellenlänge, also der Wellenlänge, bei der das objektseitige Ende des Lichtleiters scharf abgebildet ist, auch ein zunehmender Störlichtanteil in die Lichtleiter 5. Mit dem dadurch zunehmenden Weißlichtanteil wird jedoch die Bestimmung der spektralen Peaklage erschwert, weshalb bereits ab 1% Weißlichtanteil keine sinnvolle Bestimmung der Peaklage mithilfe einer Farbkamera möglich ist. Deshalb wird erfindungsgemäß eine spektrometrische Anordnung gewählt, bei der das aus den Lichtleitern 5 austretende Licht über den Strahlteiler 4 und über Optiken 9 und 11 auf einem Kamerachip 12 abgebildet wird, während ein Prisma 10 eine spektrale Aufspreizung des Lichts bewirkt. Das Prisma 10 ist dabei zwischen den Optiken 9 und 11 angeordnet. Somit ergibt sich eine Anordnung wie diese der WO 2008/129073 zu entnehmen ist. Erwähntermaßen wird auf die diesbezügliche Offenbarung ausdrücklich Bezug genommen und gilt als in der vorliegenden Anmeldung offenbart.

Durch die entsprechende Anordnung wird ein Lichtleiterende jeweils auf eine Linie auf dem Kamerachip 12 abgebildet, wobei, wie bei einem gewöhnlichen Zeilen-Spektrometer, die Position entlang dieser Linie mit einer bestimmten Wellenlänge korreliert. Der Abstand zwischen den zehn Linien, bestehend jeweils aus 200 Lichtleitern 5, ist so gewählt, dass das am Strahlteiler 4 reflektierte und auf den Kamera-Chip 12 fallende Licht eines jeden Lichtleiters 5 überlappungsfrei bis zur nächsten Linie entlang von z.B. 100 Pixeln spektral zerlegt wird. Bei einem Kamera-Chip mit 1024 Pixel x 1024 Pixel stehen so für jeden Messpunkt, d.h. für jeden Lichtleiter, ein ca. 5 Pixel breiter und 100 Pixel langer Streifen für die spektrale Zerlegung zur Verfügung.

Nach Bildaufnahme erfolgt die Auswertung der Bildinformation bzw. der Messdaten entweder bereits auf dem Kamerachip 12 oder auf einer externen Einheit. Hierzu wird in

jedem Messpunkt durch einen geeigneten Algorithmus die spektrale Peaklage und daraus der Abstand jedes Messpunkts zum Objektiv 6 ermittelt. Mit einem Bild erhält man so die dreidimensionale Struktur des Messobjekts 8 in den 2000 Stützstellen.

Ist der Abstand der Stützstellen größer als die geforderte Auflösung und/oder die dreidimensionale Struktur aus einer Perspektive nicht erfassbar, muss das Beleuchtungsmuster entsprechend verschoben werden. In der dargestellten Ausführungsform erfolgt dies durch eine Bewegung des Handstücks, wobei die resultierenden Einzelbilder in geeigneter Weise zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden.

Zur Positionierhilfe und zur Einzelbildzuordnung für die Gesamtbild-Erzeugung ist in dem Ausführungsbeispiel ein weiterer Kamerachip 14 zur Aufnahme eines Livebilds vorgesehen. Für die Livebildaufnahme sind eine oder mehrere Lichtquellen 15 in einem Spektralbereich außerhalb des für die eigentliche Messung verwendeten Wellenlängenbereichs vorgesehen. In dem Ausführungsbeispiel sind die Lichtquellen 15 und der Kamerachip 14 im Handstück integriert. Die Strahlteilung erfolgt über einen geeigneten Strahlteiler 13. Die axiale Position des Kamerachips 14 ist so gewählt, dass das Livebild ungefähr in der Mitte des Messbereichs scharf ist.

Das angesprochene Handstück umfasst im Ausführungsbeispiel einen Abschnitt der Lichtleiter 5 sowie die objektseitig sodann angeordneten Bauelemente, d.h. Strahlteiler 13, Kamerachip 14, Objektiv 6, Zusatzlichtquelle 15 sowie Strahlenumlenkung 7. Die Auswerteeinheit umfasst die verbleibenden Teile. Handstück und Auswerteeinheit sind über Lichtleiter untereinander verbunden. Somit befinden sich die objektseitigen Enden, die in der bzw. den Abbildungsebenen des Objektivs 6 verlaufen, in dem Handgerät und die beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Enden in der getrennt hiervon angeordneten Auswerteeinheit.

Als breitbandige Lichtquellen kommen u. a. Halogenlampen, Xenonlampen und vor allem LEDs, entweder Weißlicht-LEDs oder RGB-LEDs in Frage. Die Verwendung von LEDs bietet die Möglichkeit einer modulierten bzw. einer gepulsten bzw. geblitzten Bestrahlung (mit höherer Leistung im Puls als im kontinuierlichen Betrieb). Dadurch

kann in Verbindung mit einer zur Lichtquelle synchronisierten Detektion eine effiziente Störlichtunterdrückung erreicht werden.

Auch ist die Verwendung von mehreren Lichtquellen möglich. Bei LEDs kann dadurch die Gesamtlichtmenge erhöht werden. Die räumliche Anordnung der einzelnen Lichtquellen kann dabei auf die räumliche Anordnung der Lichtleiter angepasst sein. Die einzelnen Lichtquellen beleuchten damit jeweils nur einen bestimmten Anteil der Lichtleiter.

Vor allem bei Messaufgaben mit niedrigem Störlichtuntergrund ist als Farbmesseinheit die Verwendung einer Farbkamera möglich. Je nach Anforderung an die Messgenauigkeit ist entweder eine Ein-Chip-Farbkamera, eine Drei-Chip-Farbkamera oder eine Farbkamera mit Filtrerrad-Technologie möglich.

Je höher der Anteil des Störlichtuntergrunds am Messsignal ist, durch Streuung und/oder durch Störlicht von außen, umso wichtiger wird es, für eine exakte Bestimmung der Peaklage den Spektralverlauf des Untergrunds ebenfalls zu messen. Dies wird möglich, wenn ein Teil der Lichtleiter 5 nicht beleuchtet wird und damit probenseitig nur das remittierte Licht des Untergrundanteils erfasst wird.

In der in Abb. 2a dargestellten Ausführungsform liegen die Lichtleiter zur Untergrundbestimmung 16 beleuchtungs- bzw. detektionsseitig alle in einer Linie, die nicht beleuchtet wird. Probenseitig (Abb. 2b) sind die Lichtleiter 5 zur Untergrundbestimmung 16 gleichmäßig unter den anderen Lichtleitern verteilt.

Um den Untergrundanteil zu verringern, kann für eine Einzelmessung jeweils nur eine Hälfte der Lichtleiter 5 für die eigentliche Messung, der andere Teil, der nicht beleuchtet wird, für die Untergrundmessung verwendet werden. Die Variation der Beleuchtung kann beispielsweise entweder über einen LCD-Modulator oder den variierenden Strahlversatz einer verkippten Glasplatte erfolgen. Die Lichtleiter einer Linie dienen bei einer Einzelmessung entweder jeweils alle zur Abstandsmessung oder zur Untergrundmessung.

Eine Bestimmung des Untergrunds kann auch dadurch erfolgen, dass nach einer Messung die Bildebene durch ein optisches Element, beispielsweise durch Einschieben einer Glasplatte verschoben wird, und die Messung wiederholt wird. Dadurch verschiebt sich der Peak im Spektrum um einen definierten Wert in einen anderen Wellenlängenbereich. Durch geeignete Verrechnung der beiden Spektren lässt sich der Untergrund weitgehend eliminieren. Der gesuchte Abstand kann dabei aus der Peaklage beider Spektren bestimmt werden.

Neben der Verwendung einzelner Zylinderlinsen zur Beleuchtung der linienförmig angeordneten Lichtleiter ist die Verwendung eines speziell angepassten (Mikro-) Zylinderlinsen-Arrays möglich.

Werden zur Lichteinkopplung linienförmige Foki erzeugt, dann kann die Einkoppeleffizienz durch Verwendung von Lichtleitern ohne einkoppelseitigem Fasermantel gesteigert werden, da sich dann die Lichtleiter ohne Abstand nahe aneinander reihen lassen.

Zur Verbesserung der Einkoppeleffizienz ist aber auch die Kombination von Zylinderlinsen mit einem Mikrolinsen-Array oder die Verwendung von gekreuzten Zylinderlinsen möglich, um ein Muster aus einzelnen Foki zu erzeugen. Zu jedem Fokus muss dann entsprechend eine Faser positioniert sein.

Neben einer gleichmäßigen, quadratischen probenseitigen Anordnung der Lichtleiterenden sind auch andere Anordnungen denkbar. Zum Beispiel ist eine rotationssymmetrische Anordnung denkbar, die fertigungstechnische Vorteile hat. Denkbar ist auch eine unterschiedliche Dichte der Lichtleiter pro Fläche, um zum Beispiel den geringeren Überlappungsgrad der Einzelbilder im Randbereich durch eine höhere Dichte von Messpunkten auszugleichen. Alternativ ist eine im Randbereich abnehmende Messpunktdichte bei gleichzeitiger Vergrößerung des Messfelds möglich, um eine Verkipfung zwischen versetzten Einzelbildern besser zu erkennen. Besonders einfach zu fertigen ist eine zufällige Anordnung der Lichtleiter, wobei der (mittlere) Abstand der Lichtleiter entweder durch den Fasermantel selbst oder durch zufällig beigemischte Blindfa-

tern oder anderen (zylindrischen) Bauelementen eingestellt werden kann. Die Zuordnung der probenseitigen Position der einzelnen Lichtleiter zur zugehörigen Spektrum-Position auf dem Detektor erfolgt durch Kalibration an einem geeigneten Prüfkörper bekannter Geometrie.

Um eine fälschliche Lichtleitung im Fasermantel zu vermeiden, kann probenseitig und/oder einkoppelseitig anstelle des Mantels ein absorbierendes Material verwendet werden. Wenn die Anzahl der Lichtleiter von Standard-Faserbündeln nicht ausreichen, ist auch die kombinierte Verwendung von mehreren Standardfaserbündeln denkbar.

Ist der Durchmesser bzw. die Lichtmenge eines einzelnen Lichtleiters zu gering, ist die Verwendung mehrerer Lichtleiter pro Messstelle denkbar.

Auch ist eine funktionelle Aufteilung der Lichtleiter in Unterbündeln möglich. Dadurch kann z.B. das Licht der Lichtleiter, die nur zur Untergrundmessung verwendet werden, auf einen eigenen Kamera-Chip abgebildet werden, um beispielsweise die Kameraverstärkung getrennt für die eigentliche Abstandsmessung bzw. für die Untergrundmessung anpassen zu können. In Kombination mit mehreren Lichtquellen ist damit auch eine Aufteilung der Abstandsmessung in mehrere Spektralbereiche mit jeweils angepasster Lichtquelle (LED) und angepasster Kamera, gegebenenfalls mit angepasstem Farbfilter, möglich.

Um eine Verkleinerung der Durchmesser der Objektivlinsen und damit eine weitere Minimierung des Handstücks bei annähernd unveränderter Messfeldgröße zu erreichen, ist anstelle eines Objektivs mit telezentrischer Abbildung auch ein nicht telezentrisches Objektiv denkbar.

Besonders hilfreich für eine einfache Anpassung des Messgeräts an die jeweilige Fragestellung bzw. Messprobe ist die Realisierung eines Aufbaus mit wechselbarem chromatischem Objektiv. Je nach Abbildungsmaßstab, chromatischem Fehler und anderen optischen Kenngrößen lässt sich damit das Messgerät u. a. hinsichtlich Größe und Dich-

te der Messpunkte, Messabstand, Messbereich und Telezentrie an die Messaufgabe anpassen.

Ebenfalls für eine Anpassung an die jeweilige Messaufgabe können verschiedene Strahlumlenkungen, beispielsweise Umlenkspiegel oder Prismen unterschiedlicher Form und Funktion, verwendet werden. Diese sind probenseitig nach dem chromatischen Objektiv angeordnet. Es ist aber auch eine Strahlumlenkung innerhalb des Objektivs oder zwischen Faserenden und Objektiv möglich.

Für eine Referenzierung der Abstandsmessung kann ein definierter Rückreflex beispielsweise an der Auskoppelfläche des Umlenkprismas verwendet werden. Hierzu erfolgt beispielsweise vor jedem Messdurchgang eine Messung ohne Probe, wobei die jeweilige Peaklage in diesen Spektren dem Rückreflex zugeordnet werden kann. Bei der eigentlichen Messung an den Messproben kann es vorteilhaft sein, jeweils das Referenzspektrum vom Messspektrum abzuziehen.

Zur Erzeugung des Livebilds ist auch die Integration eines Kamerachips mit eigenem Objektiv im Handstück denkbar, ähnlich der „Chip on the Tip“-Technologie in der Endoskopie.

Um einen guten Überblick über die Messstelle zu haben, ist eine möglichst große Schärfentiefe für das Livebild wünschenswert. Diese kann verbessert werden, wenn in dem gemeinsamen optischen Strahlengang von Messung und Livebild, z.B. vorteilhaft in einer Pupillenebene des chromatischen Objektivs, ein dichroitische Blende eingesetzt wird, die nur für den Spektralbereich des Livebilds wirkt. Durch eine Verringerung der numerischen Apertur des Objektivs fürs Livebild kann so eine Erhöhung der Tiefenschärfe erzielt werden.

Wird durch eine große Schärfentiefe des Livebilds die Kontrolle des richtigen Messabstands zu sehr erschwert, ist als zusätzliche axiale Positionierhilfe die Einblendung einer Abstandsanzeige in das Livebild denkbar, wobei der Anzeigewert aus den 3D-Messdaten generiert werden kann.

Besonders, wenn nur wenige Lichtleiter eines oder mehrerer Faserbündel für die Messung verwendet werden, können die ungenutzten Lichtleiter für das Livebild verwendet werden.

Alternativ ist die Verwendung eines zusätzlichen Faserbündels für das Livebild möglich. Die messprobenseitige Zusammenführung des Mess-Strahlengangs und des Livebild-Strahlengangs erfolgt dann über eine geeignete Optik.

Alternativ kann ohne eines zusätzlichen Kamera-Chips aus den Signalwerten des Messbilds und durch Kombination mehrerer Einzelbilder ein Livebild mit befriedigender Auflösung erzeugt werden. Dies erfolgt z.B. unter Verwendung der jeweiligen Peakhöhe in jedem Messpunktspektrum oder durch Integration aller Werte eines jeden Spektrums zu jeweils einem Helligkeitswert.

Alternativ wird detektionsseitig über einen weiteren Teilerspiegel ein Teil des Messlichts ohne spektrale Aufspaltung direkt auf einen weiteren Kamera-Chip abgebildet. Aus mehreren Einzelbildern kann dann durch geeignete Verrechnung ein Livebild mit höherer Auflösung generiert werden. Durch Verwendung der 3D-Daten kann die Verrechnung der Einzelbilder verbessert werden. Je nach Beschaffenheit des Messkörpers lässt sich die Qualität des Einzelbilds entweder durch Verwendung einer zusätzlichen, schmalbandigen Lichtquelle oder durch Verwendung nur eines Teils des Spektralbereichs des Messlichts für die Livebild-Detektion verbessern. Die Auswahl des Spektralbereichs kann über die Verwendung eines dichroitischen Teilerspiegels erfolgen.

Patentansprüche

Verfahren sowie Messanordnung zum dreidimensionalen Messen eines Objekts

1. Verfahren zum Messen der Form zumindest eines Abschnitts eines Objekts (8), insbesondere eines semitransparenten Objekts wie zumindest Abschnitts eines Zahns unter Verwendung zumindest einer Lichtquelle (1) zur Erzeugung von Licht mit vorzugsweise einem breitbandigen Spektrum einer Einrichtung (3) zur Erzeugung eines multifokalen Beleuchtungsmusters, eines Objektivs (6) mit großer chromatischer Aberration zur Abbildung von Foki des Beleuchtungsmusters auf das Objekt einer Detektiereinrichtung (16) zur Ermittlung der Wellenlängenspektren der konfokal über das Objektiv auf das Objekt abgebildeten Foki, wobei aus dem jeweiligen Wellenlängenspektrum spektrale Peaklage eines jeden Fokus bestimmt wird, aus der die Erstreckung des Objekts in Richtung des Abbildungsstrahls (Z-Koordinate) berechnet wird, wobei das multifokale Beleuchtungsmuster über zwischen der Lichtquelle (1) und dem Objektiv (6) großer chromatischer Aberration angeordnete Lichtleiter (5) erzeugt wird, wobei das Objektiv (6) objektseitige Enden der Lichtleiter auf das Objekt und von dem Objekt remittiertes Licht auf die objektseitigen Enden der Lichtleiter abbildet und wobei durch die Lichtleiter geleitetes remittiertes Licht auf die Detektiereinrichtung (12) gelenkt wird,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass eine unterschiedliche objektseitige Anordnung der Enden der Lichtleiter (5) und beleuchtungs- bzw. detektionsseitige Anordnung der Enden der Lichtleiter erzeugt wird, damit eine objektseitige Messpunkteverteilung von einer beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Mikrolinsen- bzw. Pinholeverteilung unabhängig ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine beleuchtungs- bzw. detektionsseitige Anordnung der Lichtleiter derart gewählt wird, dass einerseits eine effiziente Lichteinkopplung aus der zumindest einen Lichtquelle (1) und andererseits eine effiziente räumliche Ausnutzung der Detektierereinrichtung (12) gewährleistet ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass objektseitig eine Anordnung der Lichtleiter (5) derart gewählt wird, dass in Verbindung mit einer nachfolgenden Überlagerung von Einzelbildern eine optimale Messpunkteverteilung auf dem Objekt (8) gewährleistet ist.
4. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Beleuchtungsmuster objektseitig zur Aufnahme von Einzelbildern verschoben wird, wobei resultierende Einzelbilder zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden.
5. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiter (5) beleuchtungs- bzw. detektionsseitig in Reihen bzw. Linien angeordnet werden, wobei die Lichtleiter vorzugsweise verdrillt werden, sodass probenseitig eine gleichmäßige Verteilung der Lichtleiter (5) erfolgt.
6. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass durch Kalibrieren eine Zuordnung der objekt- bzw. probenseitigen Position der einzelnen Lichtleiter (5) mit den beleuchtungsseitigen Enden der Lichtleiter erfolgt.

7. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass remittierte Licht eines jeden Lichtleiters (5) entlang einer Linie aufgespreizt wird.
8. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das entlang einer Linie aufgespreizte Licht auf einen Kamera-Chip (12) geleitet wird.
9. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Lichtleiter 5 austretendes Licht mit einer dispersiven Einrichtung (9, 10, 11) lateral aufgespreizt wird.
10. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektierereinrichtung eine die Wellenlängenspektren erfassende Pixelfläche eines Chips (12) wie CCD Sensors aufweist, dass die Pixelfläche und/oder die dispersive Einrichtung (9, 10, 11) zu den eine Ebene aufspannenden beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Enden der Lichtleiter (5) derart geneigt wird, dass die aus den Lichtleitern austretende Strahlung überlappungsfrei auf der Pixelfläche auftrifft.
11. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht auf die beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Enden der Lichtleiter (5) linienförmig fokussiert wird.
12. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht über Zylinderlinsen (3) linienförmig fokussiert wird.

13. Verfahren nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass von einem eine konfokale Bedingung erfüllenden und einen Lichtleiter (5) durchsetzenden Strahlenbündel ein erstes Spektrum ermittelt wird, das in dem Strahlengang zwischen dem Objekt (8) und dem Lichtleiter ein den Strahlengang änderndes optisches Element angeordnet wird, dass ein zweites Spektrum von dem Strahlenbündel mit geändertem Strahlengang ermittelt wird und dass die Spektren voneinander subtrahiert und aus sich ergebenden gleichen Peaks unterschiedlichen Vorzeichens Wellenlänge des Strahlenbündels ermittelt wird.
14. Messanordnung zum dreidimensionalen Messen von zumindest einem Teil eines Objekts, insbesondere eines semitransparenten Objekts (8) wie Zahns oder Abschnitts eines solchen, umfassend zumindest eine Lichtquelle (1) mit einem kontinuierlichen, insbesondere breitbandigen Spektrum, eine Einrichtung (3, 5) zur Erzeugung eines multifokalen Beleuchtungsmusters, ein Objektiv (6) mit großer chromatischer Abberation zur Abbildung von Foki des Beleuchtungsmusters auf das Objekt, eine Detektiereinheit (12) wie Kamera-Chip zur Ermittlung der Wellenlängenspektren der über das Objektiv auf das Objekt abgebildeten Foki sowie eine spektraldispersive Einrichtung (9, 10, 11), auf die von dem Objekt remittiertes Licht über das Objektiv abbildbar ist, wobei zwischen der Lichtquelle (1) und dem Objektiv (6) das Beleuchtungsmuster erzeugende Lichtleiter (5) angeordnet sind, deren objektseitige Enden in einer Abbildungsebene oder einen Abbildungsebenen umfassenden Bereich des Objektivs angeordnet sind, wobei zwischen den beleuchtungsseitigen Enden der Lichtleiter und der Detektiereinrichtung (12) eine Umlenkeinrichtung (4) für das aus dem Lichtleiter austretende und von dem Objekt remittierte Licht angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die objektseitigen Enden der Lichtleiter (5) derart angeordnet sind, dass objektseitig eine Messpunkteverteilung abbildbar ist, die von einer beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Mikrolinsen- bzw. Pinholeverteilung unabhängig ist.

15. Messanordnung nach zumindest Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass die beleuchtungs- bzw. detektionsseitigen Enden der Lichtleiter (5) derart angeordnet sind, dass einerseits eine effiziente Lichteinkopplung aus der zumindest einen Lichtquelle (1) und andererseits eine effiziente räumliche Ausnutzung der Detektiereinrichtung (12) gewährleistet ist und dass die objektseitigen Enden der Lichtleiter (5) derart angeordnet sind, dass eine optimale Verteilung der Messpunkte auf dem Objekt (8) gewährleistet ist.
16. Messanordnung nach zumindest Anspruch 14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Messanordnung mehrere Lichtquellen (1) umfasst, wobei eine räumliche Anordnung der einzelnen Lichtquellen (1) auf die räumliche Anordnung der Lichtleiter (5; 16) angepasst ist.
17. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiter (5) beleuchtungs- bzw. detektionsseitig in Reihen bzw. in Linien angeordnet sind und/oder dass die Lichtleiter (5) derart ausgebildet vorzugsweise verdrillt sind, sodass die Lichtleiter probenseitig eine gleichmäßige Verteilung aufweisen.
18. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiter (5) zu einem Bündel zusammengefasst sind, das aus Unterbündeln besteht, wobei über ein Unterbündel eine Untergrundmessung durchführbar ist.

19. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 18,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiter zur Untergrundbestimmung (16) beleuchtungs- bzw. detekti-
onsseitig alle in einer Linie liegen, die nicht beleuchtet ist und dass die Lichtleiter
(5) zur Untergrundbestimmung (16) probenseitig gleichmäßig unter den anderen
Lichtleitern verteilt sind.
20. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiterenden probenseitig gleichmäßig, quadratisch und/oder rotati-
onssymmetrisch angeordnet sind und/oder dass die Lichtleiter pro Fläche eine un-
terschiedliche Dichte aufweisen und/oder in einem Randbereich eine abnehmende
Messpunktedichte bei gleichzeitiger Vergrößerung eines Messfeldes vorgesehen
ist.
21. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 20,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiter (5) zufällig angeordnet sind, wobei ein (mittlerer) Abstand der
Lichtleiter (5) entweder durch einen Fasermantel selbst oder durch zufällig bei-
gemischte Blindfasern oder andere (zylindrische) Bauelemente einstellbar ist.
22. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 21,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Zuordnung der probenseitigen Position der einzelnen Lichtleiter (5) zur
zugehörigen Spektrum-Position auf der Detektiereinrichtung (12) durch Kalibrati-
on an einem geeigneten Prüfkörper bekannter Geometrie durchführbar ist.
23. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 22,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiterenden rotationssymmetrisch angeordnet sind.

24. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 23,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Licht über Zylinderlinsen (3) auf die beleuchtungsseitigen Enden der Lichtleiter (5) abbildbar ist.
25. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 24,
dadurch gekennzeichnet,
dass linienförmig fokussiertes Licht auf die beleuchtungsseitigen Enden der Lichtleiter (5) abbildbar ist.
26. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 25,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Messanordnung aus einem Handteil und einem beabstandet zu diesem anordbaren Messteil besteht, die über die Lichtleiter (5) verbunden sind.
27. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 26,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Handteil die objektseitigen Enden der Lichtleiter (5), das Objektiv (6) mit großer chromatischer Aberration sowie zumindest eine Umlenkeinrichtung (7) umfasst.
28. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 27,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Messanordnung ein wechselbares chromatisches Objektiv (6) aufweist.
29. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 28,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Objektiv (6) telezentrisch abbildet.
30. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 29,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiter (5) einkoppelseitig fasermantelfrei sind.

31. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 30,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Strahlung auf die Lichtleiterenden über Zylinderlinsen (3) mit Microlin-
senarray oder gekreuzten Zylinderlinsen abbildbar ist.
32. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 31,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiterenden zumindest objektseitig als Bündel mit vorzugsweise
quadratischem Querschnitt zusammengefasst sind.
33. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 32,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtleiter (5) zu einem Bündel zusammengefasst sind, das aus Unter-
bündeln besteht, wobei über ein Unterbündel eine Untergrundmessung durchführ-
bar ist.
34. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 33,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Messanordnung, insbesondere das Handgerät, einen Kamerachip (14) zur
Erzeugung eines Live-Bilds aufweist.
35. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 34,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtquelle (1) eine Halogenlampe, eine Xenonlampe oder ein oder meh-
rere LEDs sind.
36. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 35,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtquelle (1) Weißlicht-LEDs oder RGB-LEDs sind.

37. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 36,
dadurch gekennzeichnet,
dass die LEDs modulierte oder gepulste Strahlung emittieren.
38. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 37,
dadurch gekennzeichnet,
dass die LEDs die Leiterenden blitzartig bestrahlen.
39. Messanordnung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 38,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Detektionseinrichtung (12) eine 1-Chip-Farbkamera, eine 3-Chip-Farbkamera oder eine Farbkamera mit Filterrad-Technologie umfasst.

Abb. 1: beispielhafter Aufbau

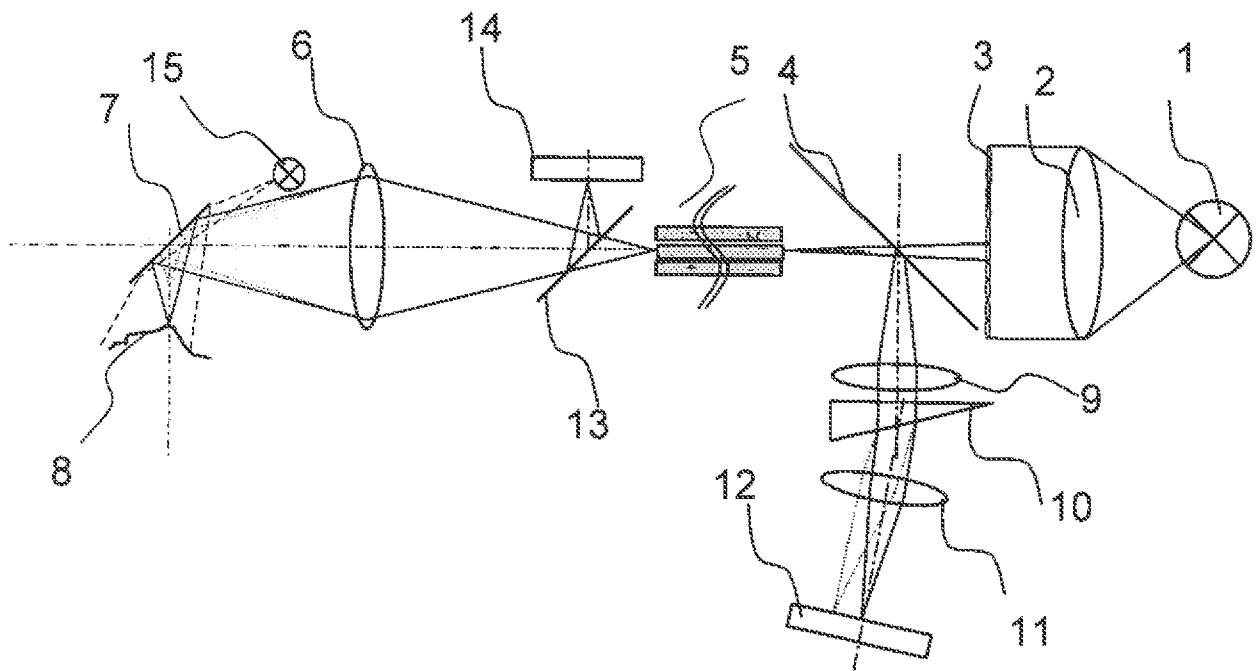
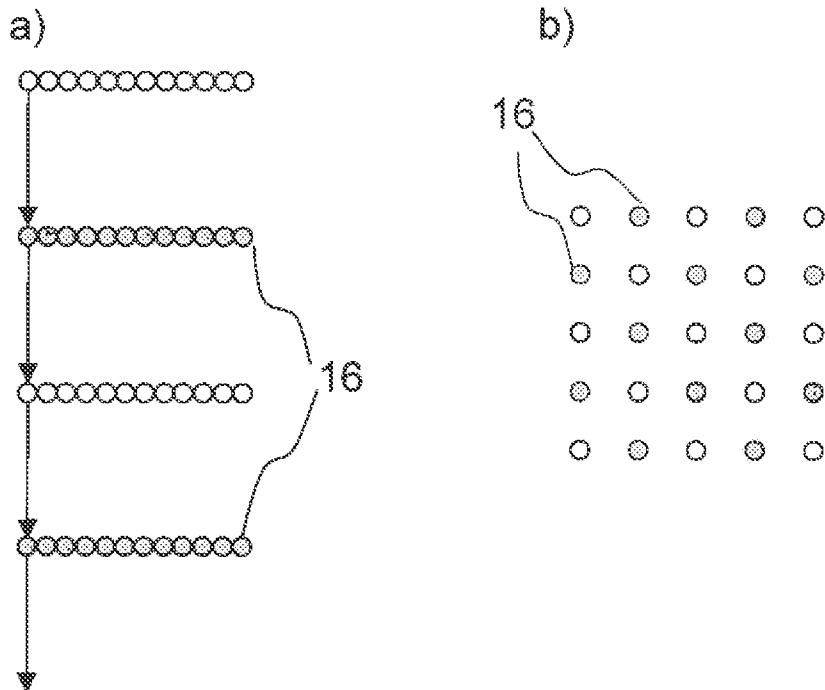


Abb.2: a) beispielhafte beleuchtungs- und detektionsseitige Anordnung der Lichtleiter
 b) beispielhafte messprobenseitige Anordnung der Lichtleiter



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/056755

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01B11/24 G02B21/00 A61B5/00 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01B G02B A61B		
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 practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2005 052743 A1 (PRECITEC OPTRONIK GMBH [DE]) 10 May 2007 (2007-05-10) the whole document	1-17, 20-32, 34-39
Y	WO 2005/031435 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; STORZ KARL GMBH & CO KG [DE]; KROHNE IN) 7 April 2005 (2005-04-07) * abstract; figures 1-3 page 5, line 16 - line 24 page 6, line 4 - page 7, line 17	1-17, 20-32, 34-39
Y	DE 10 2007 019267 A1 (DEGUDENT GMBH [DE]) 30 October 2008 (2008-10-30) cited in the application the whole document	1, 13, 14, 34
----- -/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document 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	Date of mailing of the international search report	
6 September 2010	15/09/2010	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Stanciu, C	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/056755

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2002/027708 A1 (LIN CHARLES P [US] ET AL) 7 March 2002 (2002-03-07) the whole document -----	1, 13, 14, 34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/056755

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102005052743 A1	10-05-2007	WO 2007051567 A1	10-05-2007
WO 2005031435 A1	07-04-2005	DE 10344169 A1	04-05-2005
		EP 1664892 A1	07-06-2006
		US 2007053204 A1	08-03-2007
DE 102007019267 A1	30-10-2008	AU 2008240597 A1	30-10-2008
		CA 2682297 A1	30-10-2008
		CN 101688771 A	31-03-2010
		EP 2087312 A2	12-08-2009
		WO 2008129073 A2	30-10-2008
		JP 2010525404 T	22-07-2010
		US 2010099984 A1	22-04-2010
US 2002027708 A1	07-03-2002	US 2004264897 A1	30-12-2004

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/056755

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01B11/24 G02B21/00 A61B5/00
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01B G02B A61B

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2005 052743 A1 (PRECITEC OPTRONIK GMBH [DE]) 10. Mai 2007 (2007-05-10) das ganze Dokument	1-17, 20-32, 34-39
Y	WO 2005/031435 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; STORZ KARL GMBH & CO KG [DE]; KROHNE IN) 7. April 2005 (2005-04-07) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 Seite 5, Zeile 16 - Zeile 24 Seite 6, Zeile 4 - Seite 7, Zeile 17	1-17, 20-32, 34-39
Y	DE 10 2007 019267 A1 (DEGUDENT GMBH [DE]) 30. Oktober 2008 (2008-10-30) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1,13,14, 34
	-/--	

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" älteres Dokument, 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 anderen 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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
6. September 2010	15/09/2010
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 Stanciu, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/056755

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2002/027708 A1 (LIN CHARLES P [US] ET AL) 7. März 2002 (2002-03-07) das ganze Dokument -----	1,13,14, 34

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/056755

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102005052743 A1	10-05-2007	WO 2007051567 A1	10-05-2007
WO 2005031435 A1	07-04-2005	DE 10344169 A1	04-05-2005
		EP 1664892 A1	07-06-2006
		US 2007053204 A1	08-03-2007
DE 102007019267 A1	30-10-2008	AU 2008240597 A1	30-10-2008
		CA 2682297 A1	30-10-2008
		CN 101688771 A	31-03-2010
		EP 2087312 A2	12-08-2009
		WO 2008129073 A2	30-10-2008
		JP 2010525404 T	22-07-2010
		US 2010099984 A1	22-04-2010
US 2002027708 A1	07-03-2002	US 2004264897 A1	30-12-2004

专利名称(译)	用于物体的三维测量的方法和测量布置		
公开(公告)号	EP2430395A1	公开(公告)日	2012-03-21
申请号	EP2010720412	申请日	2010-05-17
[标]申请(专利权)人(译)	德固萨有限责任公司		
申请(专利权)人(译)	DEGUDENT GMBH		
当前申请(专利权)人(译)	DEGUDENT GMBH		
[标]发明人	STOCK KARL ZINT MICHAEL GRASER RAINER HIBST RAIMUND		
发明人	STOCK, KARL ZINT, MICHAEL GRASER, RAINER HIBST, RAIMUND		
IPC分类号	G01B11/24 G02B21/00 A61B5/00		
CPC分类号	G01B11/24 A61B5/0068 A61B5/0088 A61B5/1075 A61B2562/0233 A61C9/006 G01B2210/50 G02B21/004 G02B21/0064		
优先权	102009025815 2009-05-15 DE		
其他公开文献	EP2430395B1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

用于测量物体 (8) 的至少一个部分的形状的方法，特别是半透明物体，例如牙齿的至少一个部分，使用光源 (1) 用于产生优选具有宽带光谱的光。用于产生多焦点照明图案的装置 (3)，用于将照明图案的焦点成像到物体上的具有大色差的透镜 (6)，以及用于确定焦点成像的焦点的波长光谱的检测装置 (12) 通过透镜在物体上，其中每个焦点的光谱峰值位置由相应的波长光谱确定，从该位置计算物体在成像光束方向上的范围 (Z坐标)，其中多焦点照射图案通过设置在光源 (1) 之间的光波导 (5) 形成光波导 (5) 和具有大色差的透镜 (6)，其中透镜 (6) 将光波导的物体侧端部成像到物体上，并将物体发出的光线照射到光波导的物侧端，并且其中由光波导引导和释放的光被引导到检测装置 (12)。为了能够以结构简单的措施进行高度精确的测量，其中意图是在样品上实现测量点的最佳可能分布和在检测装置中实现最佳的光谱分布，为对象提供了条件 - 通过光波导 (5) 形成的侧照射图案，使得测量点的物侧分布独立于照射侧和检测侧微透镜或针孔分配。