

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Erfassung von Konturdaten und/oder optischen Eigenschaften eines dreidimensionalen semitransparenten Objekts, wobei ein Einzellichtstrahlen aufweisendes Strahlenbündel von zumindest einer Lichtquelle zur Multipunktbeleuchtung des Objekts erzeugt wird, welches über eine Fokussieroptik auf das Objekt geleitet wird und die vom Objekt reflektierte Strahlung von einem Pixel aufweisenden Bildsensor erfasst werden. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Erfassung von Konturdaten und/oder optischen Eigenschaften eines dreidimensionalen semitransparenten Objekts, insbesondere eines semitransparenten Objekts im Dentalbereich wie Zahn oder Zahnrestauration, umfassend zumindest eine Lichtquelle zur Erzeugung eines Einzelstrahlen aufweisendes Strahlenbündels, einen die Einzelstrahlen auf das Objekt leitende Fokussieroptik sowie einen Pixel aufweisenden Bildsensor, der mit von dem Objekt reflektierte Strahlung beaufschlagbar ist.

[0002] Ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art ist in der WO 2006/048 164 A2 beschrieben.

[0003] Bei dem bekannten Verfahren wird das Strahlenbündel vor Auftreten auf einen Strahlteiler in räumlich beabstandete parallele Einzellichtstrahlen aufgeteilt, wobei die Einzellichtstrahlen einen Abstand derart zueinander aufweisen, dass ein Auftreffen von reflektierten Einzellichtstrahlen auf unmittelbar aneinander grenzende Pixel des Bildsensors unterbleibt. Bei dem Verfahren wird eine Interferenz- und oder Autokorrelationsmessung eingesetzt, wobei in einem Strahlteiler aus dem Strahlenbündel ein Referenzstrahl abgespalten und von einem entlang des Referenzstrahls verschiebbaren Referenzspiegel reflektiert wird. Durch Verschieben des Referenzspiegels kann eine Position einer Signalgewinnungsfläche relativ zum Objekt festgelegt werden.

[0004] Aus der DE 699 28 453 T2 ist eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Objektoberfläche eines Zahnbereichs bekannt. Die Vorrichtung umfasst eine Beleuchtungseinheit zum Bereitstellen einer Anordnung von Auflicht-Strahlen, welche zu dem Zahnbereich entlang einem optischen Pfad durch ein Sonderelement übertragen werden, um beleuchtete Punkte auf dem Bereich zu erzeugen. Ferner ist eine Licht fokussierende Optik vorgesehen, welche eine oder mehrere fokale Ebenen von der Abschlussfläche bei einer durch die Optik veränderbaren Position definiert, wobei jeder Lichtstrahl seinen Fokus auf einer der fokalen Ebenen hat. Ferner ist ein Translationsmechanismus vorgesehen zum Verlagern der fokalen Ebenen relativ zum Zahnbereich entlang einer Achse (Z), welche definiert ist durch die Ausbreitung der Auflicht-Strahlen.

[0005] Die von dem Zahnbereich reflektierte Strahlung wird von einem Detektor aufgenommen, der eine Anordnung von Erfassungselementen zum Messen der Intensität von jedem einer Mehrzahl von abbildenden Lichtstrahlen aufweist, welche von den Punkten zurückkehren und sich entlang einem optischen Pfad ausbreiten, welcher entgegengesetzt zu denen der Auflicht-Strahlen ist. Im Strahlengang ist zudem ein Spiegel angeordnet, welcher zwischen der Beleuchtungseinheit und der Licht fokussierenden Optik vorgesehen ist, wobei der Spiegel eine zentrale Apertur hat und die Auflicht-Strahlen in Richtung der Licht fokussierenden Optik leiten kann und die abbildenden Lichtstrahlen zu einem Detektor mittels einer Fläche des Spiegels, welches die Apertur umgibt, reflektieren kann. Mit dem Detektor ist ein Prozessor zum Bestimmen für jeden Lichtstrahl einer punktspezifischen Position verbunden, welcher die Position der entsprechenden Fokalebene der einen oder mehreren Fokalebenen ist, welcher die maximale gemessene Intensität des zurückgekehrten Lichtstrahls ergeben, und zum Erzeugen basierend auf den punktspezifischen Positionen, von Daten, welche repräsentativ für die Topologie des Bereichs sind.

[0006] Den oben beschriebenen Verfahren ist gemeinsam, dass vorzugsweise Licht aus einer bestimmten Entfernung (Z-Tiefe) detektiert wird. Eine Messung des Oberflächenprofils bzw. Volumens wird durch Durchfahren der Z-Koordinate, d. h. der Tiefe, mittels einer beweglichen Optik erreicht.

[0007] Von CD-/DVD-Playern ist ebenfalls bekannt, dass sich eine Tiefenselektion auch über Optik mit hoher numerischer Apertur erreichen lässt, die schnell defokussiert, wenn man die Soll-Z-Tiefe verlässt.

[0008] Es werden sowohl Vollfeldbeleuchtungen mit strukturiertem Licht, wie beispielsweise in der EP 0968687 A2 als auch Multipunktbeleuchtungen verwendet, wie diese in der WO 2006/048163 A2 sowie der DE 699 28 453 C2 bzw. der WO 00/08415 A1 beschrieben sind.

[0009] Der Nachteil von Vollfeldbeleuchtungen ist ein hoher Hintergrundsignalpegel, der durch Streuung von Beleuchtungslicht innerhalb des semitransparenten Objekts hervorgerufen wird sowie ein hoher Bedarf an Beleuchtungsintensität.

[0010] Bei Multipunktanordnungen ist der Bedarf an Beleuchtungsintensität deutlich geringer, jedoch kann auch hier der Fall auftreten, dass das Signal-Rauschverhältnis nicht ausreicht, bzw. die Empfindlichkeit gegen Umgebungslicht vermindert werden muss.

[0011] Davon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren und

eine Vorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass eine Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses und einer Reduktion des Hintergrundsignals erreicht wird.

[0012] Das Problem wird verfahrensmäßig unter anderem dadurch gelöst, dass vorzugsweise jeder Punkt der Multipunktbeleuchtung in seiner Intensität moduliert wird und eine Frequenz- und gegebenenfalls phasenselektive Detektion erfolgt. Die Modulation erfolgt vorzugsweise durch eine sich räumlich und zeitlich ändernde Intensitätsverteilung in unmittelbarer lokaler Umgebung.

[0013] Vorzugsweise wird in einer an sich bekannten Meßanordnung (Punkterasterprojektion auf ein Objekt und Rückprojektion mittels konfokaler Optik mit Verfahren der Konfokalebene, oder ähnlichen Verfahren wie „Depth of Focus“) jeder Punkt einer Multipunktbeleuchtung in seiner Intensität moduliert und es erfolgt eine frequenz- und ggf. phasenselektive Detektion, wobei die Modulation durch eine sich räumlich und zeitlich ändernde Intensitätsverteilung in unmittelbarer lokaler Umgebung erfolgt.

[0014] Vorzugsweise werden dazu mindestens zwei Beleuchtungsquellen, die kollinear oder leicht gewinkelt zueinander angeordnet werden können unterschiedlich, vorzugsweise mit veränderter Phasenlage moduliert.

[0015] Im Fall zweier Beleuchtungsquellen liefert Beleuchtungsquelle A ein Beleuchtungspunkteraster A und Beleuchtungsquelle B ein Beleuchtungspunkteraster B. Dabei sind die Raster A und B leicht gegeneinander versetzt, so dass ein Beleuchtungspunkt aus Raster A von seinem korrespondierenden Punkt aus Raster B nur eine geringe Entfernung aufweist, jedenfalls deutlich geringer als der Abstand zum nächsten Rasterpunkt des eigenen Punkteraster.

[0016] Im kollinearen Fall werden bei Messung in der Fokusebene die Beleuchtungspunkte der Lichtquellen A und B an unterschiedlichen Orten (z. B. anderen Pixeln des Sensors) abgebildet. Falls jedoch defokussiert gemessen wird, werden die Beleuchtungspunkte unscharf und vergrößert auf das Objekt abgebildet und somit auch unscharf auf den Sensor rückabgebildet.

[0017] Dadurch erhalten benachbarte Pixel des Sensors jeweils auch Licht von der jeweils anderen Lichtquelle. Dadurch werden die Unterschiede (z. B. bei gegenphasiger Modulation) in den Signalen geringer. Ausgewertet wird der maximale Signalunterschied zwischen den benachbarten Pixeln des Sensors, als Indikator für beste Fokussierung in einer bestimmten z-Distanz vom Sensor. (Differentialmessung).

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Messung mit nur einem zugeordneten Pixel möglich. Der eine eng benachbarte Beleuchtungspunkt wird bei Messung in der Fokusebene „ins Leere“ abgebildet, während der andere direkt auf einen Pixel trifft. Im defokussierten Fall überlagert der jetzt größere Durchmesser des ursprünglich „ins Leere“ laufenden Beleuchtungspunkt den anderen Beleuchtungspunkt und vermindert bei beispielsweise gegenphasiger Modulation das Signal. Dies kann notwendig sein bei Sensoren mit einem Pixelabstand, der deutlich größer ist, als der Abstand zwischen den Beleuchtungspunkten der Beleuchtungsraster A und B.

[0019] Im Fall von leicht zueinander gewinkelt angeordneten Beleuchtungsquellen kann ein Beleuchtungsstrahl koaxial zur Messrichtung laufen, der andere kreuzt den ersten in der Fokusebene oder beide Beleuchtungsstrahlen laufen leicht gewinkelt zur Messrichtung.

[0020] In diesem Fall kann die Beleuchtungsoptik auch nur schwach fokussierend oder gar nicht fokussierend ausgelegt sein, da neben der Aufweitung durch Defokussierung sich auch die räumliche Lage zumindest eines der beiden Beleuchtungspunkte in Abhängigkeit vom Z-Abstand ändert.

[0021] Es bestehen mehrere Auswertungsmöglichkeiten:

1. Im Falle von zwei Lichtquellen wird vorzugsweise mit der halben Frequenz der geplanten Detektionsfrequenz und vorzugsweise 180° Phasenversatz beleuchtet. In der Fokusebene überlagern sich beide Beleuchtungsstrahlen und erzeugen die Detektionsfrequenz mit entsprechender Phasenlage.

Entsprechendes gilt für mehrere Lichtquellen z. B. $1/3$ Frequenz und 120° Phasenversatz für 3 Lichtquellen etc.

Außerhalb der Fokusebene laufen die Beleuchtungsstrahlen auseinander und die Intensität der Detektionsfrequenz wird geringer.

2. Bei beispielsweise zwei sich kreuzenden Strahlen kann auch festgestellt werden, ob sich die zu messende Oberfläche oberhalb oder unterhalb der Fokusebene befindet, da sich die Strahlen in der Fokusebene kreuzen und sich somit die Phasenlage am Ort des jeweiligen Messpixels (bezogen auf ein Nachbarpixel) beim Durchlaufen der Fokusebene ändert. Dazu wird ein Modulationssignal z. B. $+90^\circ$ zum Referenztakt und das andere -90° zum Referenztakt moduliert.

[0022] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform können vorzugsweise einzelne Beleuchtungspunkte oder Gruppen von Beleuchtungspunkten innerhalb des Beleuchtungsrasters mit unterschiedlicher Phasenlage und/oder Frequenz moduliert werden, um das Übersprechen der Messpunkte

untereinander zu verringern. Dies kann beispielsweise mit einem DLP (Digital Light Processing® Verfahren der Firma Texas Instruments) oder mit einem LCoS (Liquid Crystal on Silicon) Display erfolgen. Man kann dann mit Hilfe eines Referenztaktes das Signal unterschiedlicher Rasterpunkte nach Frequenz und Phasenlage trennen.

[0023] 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 und von der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispielen.

[0024] Es zeigen:

[0025] [Fig. 1](#): einen prinzipiellen Aufbau einer Vorrichtung zur Erfassung von Konturdaten eines Objekts mit zumindest zwei Beleuchtungsquellen, die kollinear zueinander angeordnet sind,

[0026] [Fig. 2](#): eine schematische Darstellung des Pixelrasters eines Sensors mit Beleuchtungspunkten aus zwei Beleuchtungsrastern,

[0027] [Fig. 3](#): schematische Darstellung von Beleuchtungspunkten aus zwei Beleuchtungsrastern auf dem Pixelraster des Sensors bei kollinear angeordneter und defokussierter Optik,

[0028] [Fig. 4](#): eine schematische Anordnung der Beleuchtungspunkte mit unterschiedlichem Winkel zur Messrichtung,

[0029] [Fig. 5a\)–c\)](#): schematische Darstellungen des Pixelrasters des Sensors in Seitenansicht, wobei mit gewinkelter Projektion eines ersten Beleuchtungsrasters und axialer Projektion eines zweiten Beleuchtungsrasters,

[0030] [Fig. 6a\)–c\)](#): schematische Darstellungen des Pixelrasters des Sensors in Seitenansicht, mit gewinkelter Projektionsrichtung des ersten Beleuchtungsrasters und gewinkelter Projektionsrichtung des zweiten Beleuchtungsrasters,

[0031] [Fig. 7](#): ein Diagramm von Taktfrequenzen zur Modulation der Beleuchtungsraster sowie ein Überlagerungssignal,

[0032] [Fig. 8](#): ein prinzipieller Aufbau einer alternativen Vorrichtung zur Erfassung von Konturdaten eines Objekts und

[0033] [Fig. 9](#): einen schematischen Aufbau eines Modulators zur Erzeugung von Modulationssignalen für die Lichtquellen.

[0034] [Fig. 1](#) zeigt einen schematischen Aufbau einer Vorrichtung V zur Erfassung von Konturdaten einer Freiformfläche F eines semitransparenten Objekts O.

[0035] Die Vorrichtung umfasst zwei Lichtquellen A, B wie Laserdioden, deren Licht jeweils über einen Beamexpander BEA, BEB aufgeweitet und jeweils auf ein Linsenarray LAA, LAB projiziert wird, das daraus ein Strahlenbündel STBA, STBB einer Vielzahl paralleler Einzelstrahlen erzeugt, so dass eine Punktrasterprojektion auf der Freifläche F des Objektes O bzw. eine Multipunktbeleuchtung dieser erfolgt. Die Einzelstrahlen laufen durch einen Strahlteiler ST, einen teilweise durchlässigen Spiegel SP, eine vorzugsweise konfokale Optik OPT sowie ein endoskopisches Sondenelement SO auf das Objekt O geleitet. Die reflektierten Einzelstrahlen gelangen ebenfalls über das Sondenelement SO, die Optik OPT und den halbdurchlässigen Spiegel SP zu einem Detektor D in Form eines Pixel PI aufweisenden Sensors S.

[0036] Alternativ zu den unmittelbar hinter den Beamexpandern BEA, BAB angeordneten Mikrolinsenarrays LAA, LAB kann ein einzelnes Mikrolinsenarray LAC als Verbund mit dem Strahlteiler ST ausgebildet sein. Eine weitere Alternative besteht darin, ein gemeinsames Mikrolinsenarray MLD separat dem Strahlteiler ST nachzuordnen. Gemäß dem in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Beleuchtungsquellen A, B kollinear zueinander angeordnet und werden unterschiedlich, vorzugsweise mit veränderter Phasenlage moduliert.

[0037] Im Fall zweier Beleuchtungsquellen A, B liefert Beleuchtungsquelle A ein Beleuchtungsraster BRA und Beleuchtungsquelle B ein Beleuchtungsraster BRB, wie dies in [Fig. 2](#) dargestellt ist. Jedes Beleuchtungsraster BRA, BRB besteht aus einzelnen Beleuchtungspunkten BPA sowie Beleuchtungspunkten BPB. Dabei sind die Beleuchtungsraster BRA, BRB um einen Abstand D leicht gegeneinander versetzt, so dass ein Beleuchtungspunkt BPA aus Beleuchtungsraster BRA von seinem korrespondierenden Beleuchtungspunkt BPB aus Beleuchtungsraster BRB nur eine geringe Entfernung aufweist. Diese Entfernung ist jedenfalls deutlich geringer als ein Abstand E zum nächsten Rasterpunkt des eigenen Punkterasters. Ferner zeigt [Fig. 2](#) ein Pixelraster PR eines Sensors S bestehend aus einzelnen Pixeln P.

[0038] [Fig. 2](#) zeigt, dass im kollinearen Fall bei Messung in der Fokusebene die Beleuchtungspunkte BPA, BPB der Lichtquellen A und B an unterschiedlichen Orten, z. B. in anderen Pixeln PI1, PI2 abgebildet werden.

[0039] Falls jedoch defokussiert gemessen wird, werden die Beleuchtungspunkte BPA, BPB unscharf

und vergrößert auf das Objekt abgebildet und somit auch unscharf auf den Sensor S rückabgebildet. Dadurch erhalten benachbarte Pixel PI1, PI2 des Sensors S jeweils auch Licht von der jeweils anderen Lichtquelle A, B. Dadurch werden die Unterschiede, z. B. bei gegenphasiger Modulation, in den Signalen geringer.

[0040] In diesem Fall wird der maximale Signalunterschied zwischen benachbarten Pixeln PI1, PI2 des Sensors S, als Indikator für beste Fokussierung in einer bestimmten Z-Distanz vom Sensor S bestimmt (Differentialmessung).

[0041] [Fig. 4](#) zeigt eine Ausführungsform, bei der die Beleuchtungsquelle A in einem Winkel α zur Messrichtung MR und die Beleuchtungsquelle B in einem Winkel β zur Messrichtung MR angeordnet ist. Im Fall von leicht zueinander gewinkelt angeordneten Beleuchtungsquellen A, B kann ein Beleuchtungsstrahl BSA koaxial zur Messrichtung MR laufen, wobei der Beleuchtungsstrahl B der Lichtquelle B in einem Winkel zu dem Beleuchtungsstrahl A verläuft.

[0042] Alternativ können beide Beleuchtungsstrahlen BSA und BSB leicht gewinkelt zur Messrichtung MR verlaufen.

[0043] Die [Fig. 5a\)](#) bis [5c\)](#) zeigen einen Blick auf den Sensor S von der Seite unter der Annahme, dass sich das zu messende Objekt O gemäß [Fig. 5a\)](#) über der eingestellten Fokusebene befindet, gemäß [Fig. 5b\)](#), in der eingestellten Fokusebene und gemäß [Fig. 5c\)](#) bzw. unterhalb der eingestellten Fokusebene befindet.

[0044] Die [Fig. 6a\)](#) bis [6c\)](#) zeigen ebenfalls Pixelraster des Sensors S in Seitenansicht, wobei sich das Objekt gemäß [Fig. 6a\)](#) oberhalb der Fokusebene, gem. [Fig. 6b\)](#) innerhalb der Fokusebene und gemäß [Fig. 6c\)](#) unterhalb der Fokusebene befindet.

[0045] In oben genannten Fällen kann die Beleuchtungsoptik auch nur schwach fokussierend oder gar nicht fokussierend ausgelegt sein, da neben der Aufweitung durch Defokussierung sich auch die räumliche Lage zumindest eines der beiden Beleuchtungspunkte in Abhängigkeit vom Z-Abstand ändert.

[0046] Es sind mehrere Auswertungsmöglichkeiten möglich:

Im Falle von zwei Lichtquellen A, B wird mit der halben Frequenz der geplanten Detektionsfrequenz und 180° Phasenversatz beleuchtet. In der Fokusebene gemäß [Fig. 5b\)](#) bzw. [Fig. 6b\)](#) überlagern sich beide Beleuchtungsstrahlen BSA, BSB und erzeugen die Detektionsfrequenz mit entsprechender Phasenlage, wie in [Fig. 7\)](#) dargestellt. [Fig. 7\)](#) zeigt das Referenzsignal RSREF, ein Modulationssignal SMODA für Beleuchtungsrastrer BRA, ein Modulationssignal

SMODB für das Beleuchtungsrastrer BRB sowie ein Überlagerungssignal SÜB.

[0047] Entsprechendes gilt für mehrere Lichtquellen z. B. ein Drittel Frequenz und 120° Phasenversatz für drei Lichtquellen usw. Außerhalb der Fokusebene laufen die Beleuchtungsstrahlen BSA, BSB auseinander und die Intensität der Detektionsfrequenz wird geringer, siehe [Fig. 5a\)](#), [c\)](#) sowie [6a\)](#), [c\)](#).

[0048] Eine weitere Auswertungsmöglichkeit besteht darin, bei beispielsweise zwei sich kreuzenden Beleuchtungsstrahlen BSA, BSB festzustellen, ob sich die zu messende Oberfläche oberhalb oder unterhalb der Fokusebene befindet, da sich die Strahlen in der Fokusebene kreuzen und sich somit die Phasenlage am Ort des jeweiligen Messpixels PI, bezogen auf ein Nachbarpixel, beim Durchlaufen der Fokusebene ändert. Dazu wird ein Modulationssignal z. B. $+90^\circ$ zum Referenztakt und das andere -90° zum Referenztakt moduliert.

[0049] Weiterhin besteht die Möglichkeit, Gruppen von Beleuchtungspunkten bzw. einzelne Beleuchtungspunkte innerhalb eines Beleuchtungsrastrers BRA, BRB mit unterschiedlicher Phasenlage oder Frequenz zu modulieren, um das Übersprechen der Messpunkte untereinander zu verringern. Dies kann beispielsweise mit einem DLP (Digital Light Processing – Verfahren der Firma Texas Instruments), oder mit einem LCoS (Liquid Cristal an Silicon) – Display erfolgen. In diesem Fall kann das Detektorsignal mit Hilfe eines Referenztaktes für die unterschiedlichen Rasterpunkte nach Frequenz und Phasenlage getrennt werden. Ein Ausführungsbeispiel ist in [Fig. 8\)](#) schematisch dargestellt.

[0050] [Fig. 8\)](#) zeigt eine Beleuchtungseinrichtung BE, wie diese in Bezug zu [Fig. 1\)](#) bereits erläutert wurde. Die aus der Beleuchtungseinrichtung BE austretenden Beleuchtungsstrahlen BSA, BSB treffen auf einen halbdurchlässigen Spiegel SP2 und werden über ein DLP (Digital Light Processing) und eine verschiebbare Optik OPT auf das Objekt O abgebildet. Durch Verschieben der Optik entlang in Richtung der Pfeile PF kann die Fokusebene eingestellt werden. Die von dem Objekt O reflektierten Strahlen werden von dem Sensor S wie Cemos- oder CCD-Sensor erfasst.

[0051] Schließlich zeigt [Fig. 9\)](#) einen Modulator MOD zur Modulation des aus der Lichtquelle A bzw. Lichtquelle B austretenden Lichtes. Dabei ist ein Ausgang eines Taktgenerators TG unmittelbar mit einem Steuereingang der Lichtquelle A und über einen Phasenshifter PHS mit einem Steuereingang der Lichtquelle B verbunden. Ein weiterer Ausgang des Taktgenerators TG ist mit einer Verarbeitungseinheit VE1 verbunden, in der die Pixel PI des Sensors S pixelweise eingelesen werden. Anschließend wird in einer

weiteren Verarbeitungseinheit VE2 die Pixelintensität mit dem Takt verrechnet. Phasen und frequenzselektive Auswahl ist dabei möglich.

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2006/048164 A2 [0002]
- DE 69928453 T2 [0004]
- EP 0968687 A2 [0008]
- WO 2006/048163 A2 [0008]
- DE 69928453 C2 [0008]
- WO 00/08415 A1 [0008]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung von Konturdaten und/oder optischen Eigenschaften eines dreidimensionalen semitransparenten Objekts, wobei ein einzelne Lichtstrahlen aufweisendes Strahlenbündel von zumindest einer Lichtquelle zur Multipunktbeleuchtung des Objekts erzeugt wird, welches über eine Fokussieroptik auf das Objekt geleitet und vom Objekt reflektierte Strahlung zur Detektion von Pixel aufweisendem Bildsensor erfasst wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass Punkte der Multipunktbeleuchtung in ihrer Intensität moduliert werden und eine frequenz- und/oder phasenselektive Detektion von von dem Objekt reflektierter Strahlung erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Modulation derart erfolgt, dass eine räumlich und/oder zeitlich ändernde Intensitätsverteilung in unmittelbarer lokaler Umgebung von zumindest einem Pixel des Bildsensors erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei Lichtquellen verwendet werden, die jeweils ein Punktegitter erzeugen, wobei Abstand von korrespondierenden bzw. benachbarten Punkten zwischen den zumindest zwei Punktegittern kleiner als Abstand der Punkte im jeweiligem Punktegitter ist.

4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungen gegenphasig moduliert werden.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Konturbestimmung maximaler Signalunterschied zwischen benachbarten Pixeln des Bildsensors ausgewertet wird, in deren Bereichen jeweils ein reflektierter Beleuchtungspunkt von jeder der Lichtquellen auftritt.

6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Konturbestimmung von einem Pixel erfasste Intensitätsverteilung ermittelt wird, in dessen Bereich bzw. lokaler Umgebung jeweils ein reflektierter Beleuchtungspunkt von jeder der Lichtquellen auftritt.

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei zueinander gewinkelt angeordneten Lichtquellen Beleuchtungsstrahl einer der Lichtquellen koaxial zur Messstrahlenrichtung verläuft.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus den gewinkelt zueinander angeordneten Lichtquellen und der Fokussieroptik bestehende Be-

leuchtungsoptik schwach fokussierend oder nicht fokussierend ausgelegt wird.

9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei Punktegitter verwendet werden, wobei bei Messungen in der Fokusebene die Beleuchtungspunkte eines Punktegitters als erste Beleuchtungspunkte auf pixelfreie Bereiche des Bildsensors und die Beleuchtungspunkte des anderen Punktegitters auf Pixel des Bildsensors treffen und bei Defokussieren die ersten Beleuchtungspunkte auf Pixel auftreffen.

10. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Verwendung von n Lichtquellen Strahlung einer jeden Lichtquelle in Bezug auf die anderen Lichtquellen einen Phasenversatz von $360^\circ/n$ aufweist und/oder Strahlung einer jeden Lichtquelle eine Frequenz v/n mit v = Detektionsfrequenz aufweist.

11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch Änderung der Phasenlage des Signals in Abhängigkeit der Lage der Messebene in Bezug auf die Fokusebene ermittelt wird, ob ein Messpunkt oberhalb oder unterhalb der Messebene liegt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

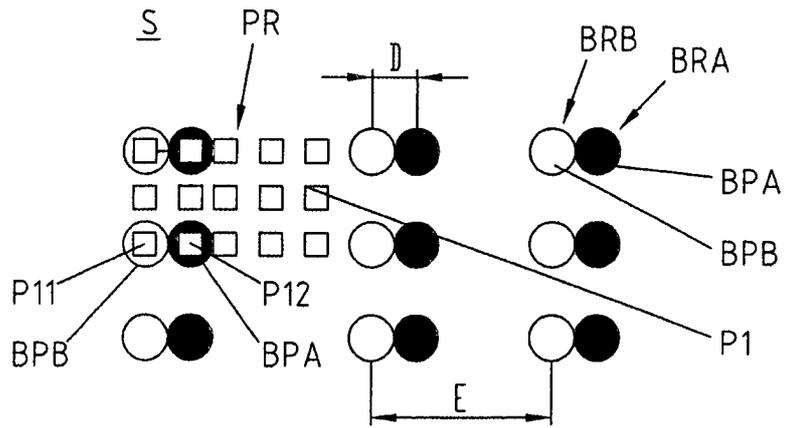


Fig. 2

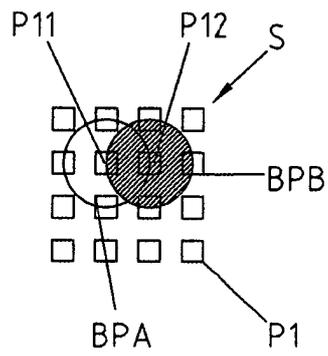


Fig. 3

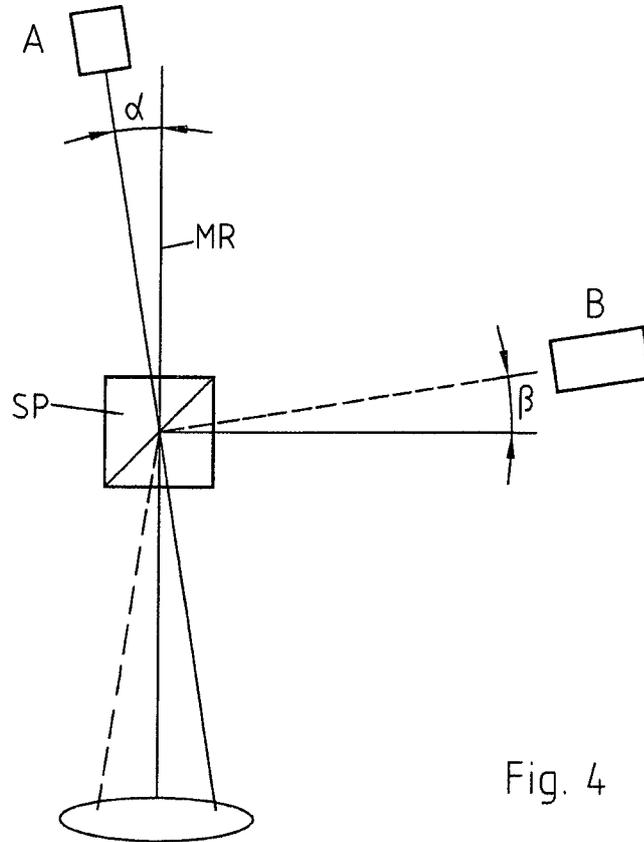


Fig. 4

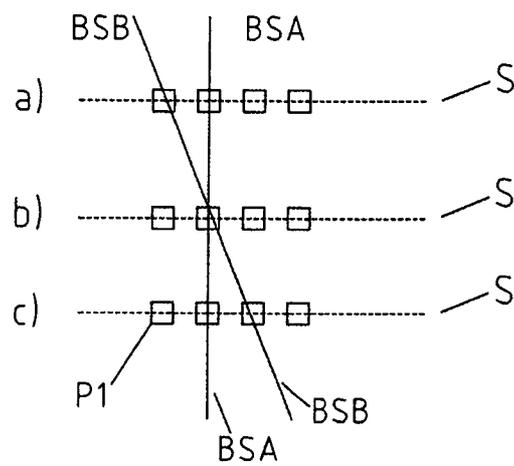


Fig. 5

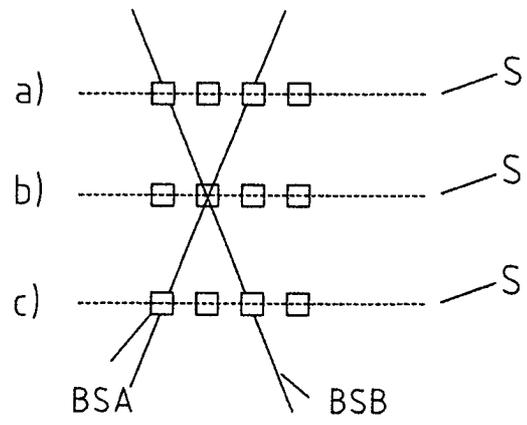


Fig. 6

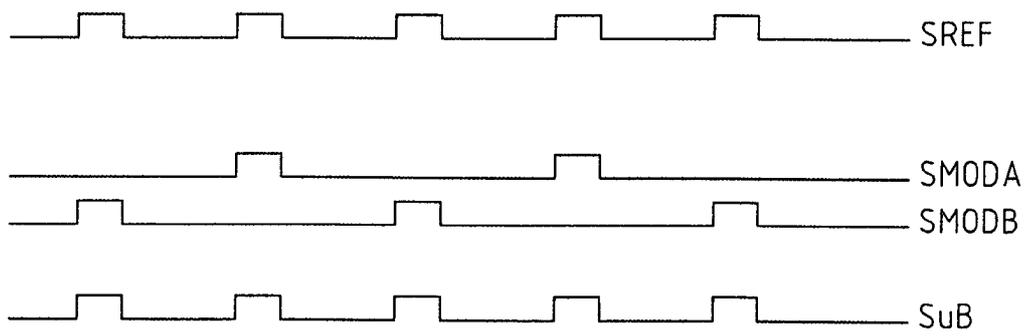


Fig. 7

