



(10) **DE 10 2006 034 205 B4** 2012.03.01

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2006 034 205.4**
(22) Anmeldetag: **25.07.2006**
(43) Offenlegungstag: **07.02.2008**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.03.2012**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:
Carl Mahr Holding GmbH, 37073, Göttingen, DE

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728, Esslingen, DE

(72) Erfinder:
Antrag auf Nichtnennung

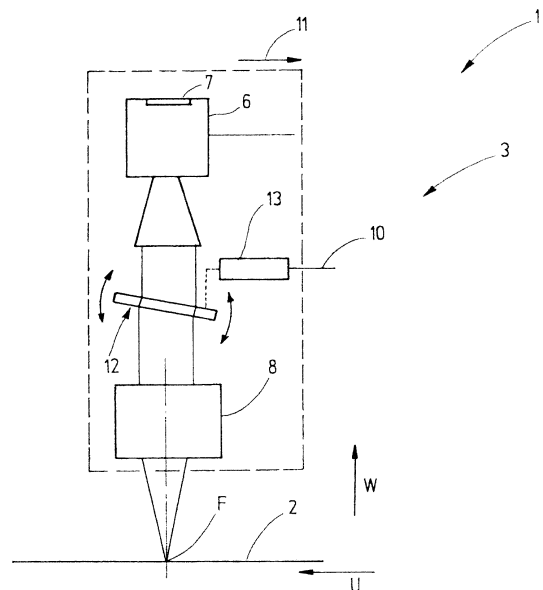
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	198 12 899	C2
DE	42 38 115	A1
DE	10 2004 047 928	A1
US	6 734 903	B1
US	2004 / 0 135 898	A1
WO	92/ 01 996	A1

(54) Bezeichnung: **Dynamische Bildaufnahme mit bildgebenden Sensoren**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum optischen Messen an einer Oberfläche eines Messobjekts mittels eines Bildaufnahmesystems (3) zur Aufnahme eines Bildes, mit folgenden Verfahrensmerkmalen:

- das Messobjekt und das Bildaufnahmesystem werden gegeneinander in einer Scanrichtung mit einer Scangeschwindigkeit bewegt,
- zumindest einer Komponente (8, 12) des Bildaufnahmesystems (3), die die Position des aufgenommenen Bildes in Bezug auf das Messobjekt (2) bestimmt, oder dem Messobjekt (2) wird eine oszillierende Überlagerungsbewegung erteilt, wobei die Überlagerungsbewegung anhand der Scangeschwindigkeit so festgelegt wird, dass die Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen dem Messobjekt (2) und dem Bild während eines zumindest kurzzeitigen Bildaufnahmeintervalls (v) deutlich geringer als die Scangeschwindigkeit ist oder Null beträgt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur optischen Vermessung einer Oberfläche eines Messobjekts mittels eines Bildaufnahmesystems.

[0002] Bei der Aufnahme eines Messobjekts mittels eines Bildaufnahmesystems, insbesondere zur Vermessung desselben, müssen Maßnahmen getroffen werden, die ein Verwackeln des aufgenommenen Bildes verhindern. Bei kontinuierlicher Bewegung zwischen Messobjekt und Bildaufnahmesystem ist es möglich, mittels Blitzbeleuchtung Momentaufnahmen des Objekts zu erzeugen. Jedoch können schon bei relativ langsamen Geschwindigkeiten von beispielsweise lediglich 10 mm/Sek. und Belichtungszeiten von 1/5000 Sekunde genaue Messaufgaben nicht mehr erfüllt werden. Die Relativbewegung während der Zeit des Blitzes beträgt dann schon zwei Mikrometer oder bei gängigen Kameras rund vier Pixel, so dass das Bild entsprechend verschmiert ist. Außerdem können die auftretenden starken Lichtreflexionen bei Beleuchtung des Objekts mit stroboskopischen Blitzen zu Verfälschungen der Bildaufnahme führen. Es muss somit entweder mit sehr geringen Relativgeschwindigkeiten zwischen Messobjekt und Bildaufnahmesystem oder mit einer stufenweisen Bewegung gearbeitet werden.

[0003] Besonders störend ist die Relativbewegung zwischen dem Messobjekt und dem Bildaufnahmesystem bei interferometrischen Messungen. Andererseits bietet das interferometrische Messprinzip ein weites Spektrum von Anwendungsmöglichkeiten, das möglichst ausgeschöpft werden soll.

[0004] Zur Aufnahme von Bildern an bewegten Objekten offenbart die DE 42 38 115 A1 die stroboskopische Beleuchtung entsprechender Objekte. Das aufzunehmende Objekt läuft an einer Videokamera vorbei, wobei in einer ersten Variante eine pulsierende Beleuchtung verwendet wird. In einer zweiten Variante ist die Kamera mit einem elektronischen Kurzzeitverschluss versehen, um quasi stehende Bilder aufnehmen zu können.

[0005] Das Verfahren stößt an verschiedene Grenzen, wenn die Bewegungsgeschwindigkeit und die Ansprüche an die Abbildungsgenauigkeit hoch sind.

[0006] Die WO 92/01996 A1 offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bildstabilisierung bei der Bildaufnahme mittels Handkamera. Die Kamera weist einen elektronischen Bildsensor auf, der die Bilder in Pixel zerlegt. Es werden nacheinander mindestens zwei Bilder aufgenommen. Anhand von über das Bild verteilten Bildpunkten wird die Schwenk- und Neigungsbewegung der Kamera erfasst und somit der Grad der Bildbewegung ermittelt. Die so er-

mittelten Parameter werden bei der Aufzeichnung des Bildes im Sinne einer Bewegungskompensation durch Gegenbewegung des Aufnahmemediums berücksichtigt.

[0007] Es handelt sich hierbei um eine Wackelkorrektur, die die Relativbewegung zwischen zwei aufeinander folgenden Bildaufnahmen kompensieren kann. Das Verfahren eignet sich aber nicht für den Fall einer fortgesetzten Scanbewegung.

[0008] Die DE 198 12 899 C2 nutzt zur Objektbildnachführung einen Objektbildverschiebungsanalysator, der ebenfalls zwei Objektbilder zur Berechnung einer Relativverschiebung benötigt.

[0009] Die DE 10 2004 047 928 A1 offenbart ein optisches 3D-Messverfahren, das mit einem Objektiv geringer Tiefenschärfe arbeitet. Das Objektiv legt eine Fokusebene fest, die bei der Messung entlang der optischen Achse des Messsystems (in Z-Richtung) bewegt wird. Dadurch wird eine Serie von Bildern aufgenommen, die als „Bilderstapel“ bezeichnet wird. Dieser Bilderstapel wird im einfachsten Falle bei ruhender Fokusebene aufgenommen, indem die Bewegung der Fokusebene in Bezug auf die Objektfläche während der Messung zur Bildaufnahme jeweils gestoppt wird. Alternativ wird mit bewegter Fokusebene gearbeitet, wobei die Bewegungsgeschwindigkeit der Fokusebene in Bezug auf die Bildaufnahmegeschwindigkeit gering ist. Um die Bildaufnahmegeschwindigkeit zu steigern, wird die Bewegung der Fokusebene während der Bildaufnahme berücksichtigt.

[0010] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Messeinrichtung zu schaffen, die eine erhöhte Bildaufnahmegeschwindigkeit gestattet. Es ist des Weiteren Aufgabe der Erfindung, ein dazu geeignetes Verfahren anzugeben.

[0011] Durch die Erfindung wird es möglich, das Bildaufnahmesystem ohne zu halten über ein Messobjekt zu bewegen und dabei Bilder der Messobjektoberfläche aufzunehmen. Dies führt zu einem schnelleren Messlauf, bzw. einer verkürzten Messzeit. Ein Verwackeln von Bildern wird verhindert. Außerdem wird es überflüssig, die Bewegung des Messobjekts oder des Messsystems immer wieder zu stoppen, d. h. zu beschleunigen und anzuhalten, was in der Praxis z. B. durch die dadurch erzeugten Schwingungen zu erheblichen Schwierigkeiten führen würde.

[0012] Die genannten Vorteile erbringt das erfindungsgemäße Verfahren, indem dem Bildaufnahmesystem oder zumindest einer massearmen Komponente derselben eine der Scanbewegung überlagerte, der Scanbewegung zeitweilig entgegen gesetzt gerichtete Relativbewegung erteilt wird, die jeweils

für die Zeit der Bildaufnahme andauert. Die Richtung der Scanbewegung und der Überlagerungsbewegung ist gleich oder gegengleich, wobei die Scanbewegung vorzugsweise eine gleichförmige Bewegung und die Überlagerungsbewegung eine schwingende Bewegung ist. Die Überlagerung ergibt kurze Ruhephasen der Relativbewegung. Die Relativbewegung zwischen dem Messobjekt und dem Bild oder, mit anderen Worten, zwischen dem auf dem Kamerachip projizierten Bild der Messobjektoberfläche und dem Kamerachip wird jeweils für die Dauer der Bildaufnahme Null. Ein Verwackeln des Bildes wird somit ausgeschlossen. Es wird ein kurzes Bildaufnahmeintervall geschaffen, indem die Kamera auch bei schwacher oder mäßiger Beleuchtung ausreichend Belichtungszeit hat und dennoch ein scharfes Bild erhält. Es können vielfältige Beleuchtungstechniken angewandt werden. Die Anwendung ist nicht auf stroboskopische Beleuchtung oder Blitzbeleuchtung beschränkt. Es ist nicht mehr nötig, die Kamera oder den Kamerakopf über der Oberfläche des Messobjekts physisch anzuhalten oder das Messobjekt physisch anzuhalten. Die Verweilzeit des Bildes auf dem Kamerachip wird durch Bewegung optischer Komponenten des Bildaufnahmesystems erreicht, wobei die Bewegung Dreh-, Kipp- oder Verschiebebewegungen sein können und lediglich geringe Amplituden haben. Die bewegte Komponente kann ein Spiegel, eine Linse, ein Prisma, eine Parallelplatte, ein Gitter, der Kamerachip, das Kameragehäuse, der Kameraträger oder ähnliches sein. Es ist jedoch keine Einflussnahme auf die Achsen der Messmaschine erforderlich, mit denen das optische Messsystem im Ganzen oder das Messobjekt bewegt wird. Somit werden die bewegten Massen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gering gehalten.

[0013] Prinzipiell ist es sowohl möglich, die Scanbewegung durch die Bewegung des Messobjekts hervorzurufen, als auch die Scanbewegung durch die Bewegung des Bildaufnahmesystems hervorzurufen. Ist das Bildaufnahmesystem selbst relativ klein und leicht kann beispielsweise das Messobjekt gleichförmig durch das Blickfeld des Bildaufnahmesystems bewegt werden, während das Bildaufnahmesystem eine Oszillationsbewegung ausführt. Während der Oszillationsbewegung bewegt sich das Bildaufnahmesystem jeweils kurzzeitig synchron zu dem Messobjekt. Diese Phasen synchroner Bewegung stellen zeitliche Bildaufnahmeintervalle dar, in denen ein virtuell ruhendes Bild aufgenommen werden kann.

[0014] Die Bewegung kann sowohl das gesamte Messsystem erfassen, indem dieses oszilliert. Die Oszillationsrichtung stimmt mit der Bewegungsrichtung des Messobjekts gleich oder gegengleich überein. Es ist jedoch auch möglich, nur Teile des Bildaufnahmesystems oszillieren zu lassen. Dies minimiert beschleunigungsinduzierte Vibrationseinflüsse auf das Bildaufnahmesystem.

[0015] Vorzugsweise wird die Überlagerungsbewegung so festgelegt, dass die Relativbewegung zwischen dem Messobjekt und dem Bild während des Bildaufnahmeintervalls Null ist. Unter „Bild“ wird in diesem Zusammenhang der von dem Bildaufnahmesystem betrachtete Bereich des Messobjekts verstanden. Mit dem Verschwinden der Relativbewegung zwischen dem Messobjekt und dem Bild verschwindet auch die Relativbewegung zwischen dem Kamerachip und dem Projektionsbild, d. h. der auf den Kamerachip projizierten Abbildung der Messobjektoberfläche.

[0016] Es kann eine Regelschleife vorgesehen werden, die die Relativbewegung während des Bildaufnahmeintervalls auf Null regelt, indem eine entsprechende Überlagerungsbewegung eingestellt wird. Des Weiteren ist es möglich, die Scangeschwindigkeit zu erfassen und die Stellgeschwindigkeit entsprechender Komponenten in dem Bildaufnahmesystem von vornherein entsprechend festzulegen, so dass sich die Relativgeschwindigkeit Null einstellt.

[0017] Die Überlagerungsbewegung kann zumindest prinzipiell durch eine gleichförmige Bewegung, wie beispielsweise eine rotierende Bewegung eines Polygonspiegels oder dergleichen erzielt werden. Anspruchsgemäß wird jedoch eine oszillierende Bewegung genutzt, deren Parameter (Frequenz und Amplitude) einstellbar sind. Im bevorzugten Falle weist die Überlagerungsbewegung eine stetige erste und zweite Zeitableitung auf. Es wird somit eine stoß- und ruckfreie Bewegung angestrebt und erhalten. Kurven mit stetiger erster und zweiter Zeitableitung werden in diesem Zusammenhang als sinuid (sinusartig) bezeichnet. Es ist allerdings auch möglich, die oszillierende Bewegung anderweitig zu gestalten, beispielsweise einer symmetrischen oder einer unsymmetrischen Kurve, einer Dreieckskurve oder einer Rechteckkurve folgen zu lassen. Unabhängig davon, folgt die Überlagerungsbewegung vorzugsweise jeweils vier Phasen, nämlich einer Messphase mit Relativgeschwindigkeit Null zwischen Bild und Messobjekt, einer Beschleunigungsphase zur Beschleunigung der Komponente des Bildaufnahmesystems auf Vorlauf- oder Überholgeschwindigkeit, Bewegung der Komponente mit Vorlaufgeschwindigkeit und Bremsen der Komponente auf Scangeschwindigkeit (mit Relativgeschwindigkeit Null zwischen Bild und Messobjekt). Die Phase der Bewegung der Komponente mit Vorlauf oder Überholgeschwindigkeit kann unter Umständen entfallen, wenn die Beschleunigungsphase unmittelbar in eine Bremsphase übergeht.

[0018] Die entsprechenden, oben diskutierten Vorzüge ergeben sich nicht nur für das erfindungsgemäße Verfahren sondern auch für entsprechende Vorrichtungen, die das Verfahren umsetzen. Als Aktuatoren zur Bewegung der Komponente des Bildaufnahmesystems werden vorzugsweise Piezoakto-

ren angewandt. Das Ansteuern derselben kann von einer Steuer- und/oder Regeleinrichtung vorgenommen werden, die äußere Parameter, wie beispielsweise die Scangeschwindigkeit berücksichtigt.

[0019] Es wird bevorzugt, in dem Bildaufnahmesystem mehrere, z. B. zwei oder drei Aktoren vorzusehen, die verschiedene Richtungen für die Überlagerungsbewegung festlegen. Auf diese Weise kann z. B. die Fokusebene in Z-Richtung (Richtung der optischen Achse) oder in X- oder in Y-Richtung bewegt werden, so dass auch bei räumlichen, d. h. 3D-Scanbewegungen das Bild auf dem Kamerachip für aufeinander folgende Bildaufnahmeintervalle zur Ruhe gebracht werden kann.

[0020] Weitere Einzelheiten von Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus der Zeichnung, der Beschreibung oder Ansprüchen. In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung veranschaulicht. Es zeigen:

[0021] [Fig. 1](#) ein Messsystem mit Messobjekt und Bildaufnahmesystem in schematisierter Darstellung,

[0022] [Fig. 2](#) Zeitverläufe der Geschwindigkeit der Scanbewegung und der Überlagerungsbewegung

[0023] [Fig. 2a](#) die sich ergebenden Relativbewegung zwischen Bild und Kamerachip als Abbildung des Wegs über der Zeit,

[0024] [Fig. 3](#) eine Ausführungsform eines Messsystems mit Bildaufnahmesystem zur Erzeugung einer Überlagerungsbewegung rechtwinklig zur optischen Achse,

[0025] [Fig. 4](#) eine weitere schematische Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Messsystems und

[0026] [Fig. 5](#) eine schematische Veranschaulichung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Messsystems.

[0027] In [Fig. 1](#) ist ein Messsystem **1** zum optischen Vermessen eines Messobjekts **2** veranschaulicht. Zu dem Messsystem gehören ein Bildaufnahmesystem **3** und ein Messobjektträger **4**, die relativ zueinander bewegbar sind. Die Relativbewegung kann prinzipiell alle drei Raumrichtungen umfassen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird zur ersten Veranschaulichung auf die Relativbewegung entlang einer optischen Achse **5** Bezug genommen, die mit der W-Richtung eines Kamerakoordinatensystems übereinstimmt und die im Wesentlichen senkrecht auf dem Messobjektträger **4** bzw. der Oberfläche des Messobjekts **2** steht. Das UVW-Koordinatensystem des Kamerakopfs ist prinzipiell unabhängig von dem XYZ-Koordinatensystem einer Messmaschine. Dennoch

wird die W-Achse der Kamera gelegentlich auch als „Z-Richtung“ bezeichnet. Die Erfindung ist aber insbesondere für Fälle einsetzbar, bei denen die Bewegung zwischen Objekt und Kamera quer zur W-Richtung stattfindet.

[0028] Das Messsystem **1** verwirklicht die Grundidee der Erfindung, wonach der Relativbewegung zwischen dem Bildaufnahmesystem **3** und dem Messobjekt **2** eine zusätzliche Bewegung überlagert wird (Überlagerungsbewegung), um die optische Relativbewegung zwischen dem Bildaufnahmesystem und dem Messobjekt kurzzeitig während Bildaufnahmeintervallen auf Null zu bringen, ohne die physische Bewegung zu stoppen. Die Überlagerungsbewegung kann eine Linearbewegung oder auch eine Schwenkbewegung sein.

[0029] Das Bildaufnahmesystem **3** enthält eine Kamera **6** mit einem Kamerachip **7**, auf den das Bild der Oberfläche des Messobjekts **3** projiziert wird. Es wird dort in elektrische Signale umgesetzt und an eine Bildverarbeitungseinrichtung geliefert. Dies erfolgt während zeitlicher Bildaufnahmeintervalle, die jeweils durch Anfang und Ende der Bildaufnahme festgelegt sein können. Dazu kann an der Kamera **6** ein Shutter vorgesehen sein. Es ist aber auch möglich, Anfang und Ende des Bildaufnahmevorganges ohne Zuhilfenahme eines Shutters an dem Kamerachip **7** elektronisch zu steuern.

[0030] Zur dem Bildaufnahmesystem **3** gehört außerdem ein Objektiv **8**, das z. B. eine Fokusebene **9** festlegt. Durch Verschiebung des Objektivs **8** entlang der optischen Achse **5** in W-Richtung kann die Position der Fokusebenen **9** verändert werden. Es kann ein Piezoantrieb vorgesehen werden, um diese Verlagerung der Fokusebene **9** in W-Richtung um beispielsweise wenige Mikrometer vorzunehmen. Damit kann einer W-Scanbewegung eine W-Überlagerungsbewegung überlagert werden, bei der das gesamte Objektiv **8** mit oder ohne Kamera **6** oszilliert. Entsprechend ist es möglich, das projizierte Bild um ein kleines Intervall in U-Richtung oder V-Richtung des UVW-Koordinatensystems zu verschieben, Wenn in U- oder V-Richtung gescannt wird.

[0031] Alternativ ist es möglich, das Objektiv **8** so zu gestalten, dass die Fokusebene **9** in U-, V- oder W-Richtung um einen gewissen Betrag von beispielsweise einigen Mikrometern verlagert werden kann, so dass die Fokusebene **9** (beim scannen in W-Richtung) in die Position **9'** gemäß [Fig. 1](#) gelangen kann. Dies kann beispielsweise durch gezielte Verstellung oder Verlagerung einer einzigen Linse oder eines sonstigen optischen Elements des Objektivs **8** geschehen. Wiederum kann dies durch einen Piezoaktuator erfolgen, der über eine Leitung **10** angesteuert wird.

[0032] Während [Fig. 1](#) eine Ausführungsform des Bildaufnahmesystems **3** veranschaulicht, bei dem die Scanrichtung mit der W-Richtung übereinstimmt, veranschaulicht [Fig. 3](#) eine Ausführungsform des Bildaufnahmesystems **3** bei dem die Scanrichtung quer zur W-Richtung beispielsweise in U-Richtung festgelegt ist. Das Bildaufnahmesystem **3** und der Messobjektträger **4** bzw. das Messobjekt **2** werden somit quer zur optischen Achse **5** zueinander bewegt. Die Scanrichtung ist durch einen Pfeil **11** angedeutet. In dem optischen Pfad des Bildaufnahmesystems **3** ist außer dem Objektiv **8** und der Kamera **6** in diesem Fall ein optisches Element, beispielsweise in Form einer Parallelplatte **12** vorgesehen, das darauf eingerichtet ist, das auf dem Kamerachip **7** erzeugte Bild des Messobjekts **2** in U- oder V-Richtung, d. h. parallel zur Oberfläche des Kamerachips **7** zu verschieben. Dies kann beispielsweise durch ein Drehen oder Schwenken der Parallelplatte **12** erfolgen, wie durch Pfeile angedeutet ist. Zur Bewirkung dieser Bewegung kann ein Aktuator **13** beispielsweise in Form eines Piezoaktuators vorgesehen sein.

[0033] Ein Messsystem kann sowohl die Komponenten nach [Fig. 1](#) als auch die Komponenten nach [Fig. 3](#) aufweisen. Einer beliebigen gerad- oder krummlinigen Scanbewegung kann somit eine Überlagerungsbewegung überlagert werden, deren Richtung in jedem Bahnpunkt der Scanbewegung mit der Richtung der Scanbewegung gleich oder gegengleich übereinstimmt. Die einzelnen Komponenten der Überlagerungsbewegung sind u , u und w und stimmen mit den Komponenten der Scanbewegung u , v , w gleich oder gegengleich überein.

[0034] [Fig. 4](#) veranschaulicht einen weiteren Aspekt des erfindungsgemäßen Messsystems **1**. Das Bildaufnahmesystem **3** ist an eine Verarbeitungseinrichtung **14** angeschlossen. Diese ist beispielsweise als Bildverarbeitungseinrichtung ausgebildet und wertet die von dem Kamerachip **7** gelieferten Bilder aus. Außerdem kann sie z. B. über die Leitung **10**, den Aktuator **13** oder einen anderen Aktuator steuert, um eine Verlagerung der Fokusebene **9** in U-, V- oder W-Richtung vorzunehmen. Dabei wird die Verlagerung in U- oder V- synonym zur Verschiebung des Bildes des Messobjekts parallel zur Oberfläche des Kamerachips **7** verstanden.

[0035] Des Weiteren kann die Verarbeitungseinrichtung **14** eine Aktuatoreinrichtung **15** steuern, mit der der Messobjektträger **4** in U-, V- oder W-Richtung zu verschieben ist. Es kann sich bei dem Aktuator **15** somit z. B. um zwei oder mehrere Achsen einer Messmaschine handeln.

[0036] Das insoweit beschriebene Bildaufnahmesystem **3** arbeitet wie folgt: Das Bildaufnahmesystem **3** soll die Oberfläche des Messobjekts **2** scannen. Dazu werden das Bildauf-

nahmesystem **3** und der Messobjektträger **4** relativ zueinander z. B. in W-Richtung ([Fig. 1](#)) oder in U- und/oder V-Richtung ([Fig. 3](#)) bewegt. Der dabei zurückgelegte Weg wird in [Fig. 2a](#) durch eine schräg ansteigende Gerade **1** veranschaulicht. Es handelt sich z. B. um eine gleichförmige unbeschleunigte Bewegung, die in [Fig. 2](#) als Gerade, parallel zu der t-Achse zu sehen ist. Dieser Bewegung wird nun eine über die Leitung **10** an den Aktuator **13** bzw. den entsprechenden Aktuator des Objektivs **8** befohlene Bewegung überlagert, die in [Fig. 2](#) veranschaulicht ist. Diese Bewegung enthält Phasen II, in denen die dargestellte Überlagerungsbewegung einen von Null verschiedenen Wert aufweist. Zwischen diesen Phasen II sind Phasen III vorhanden, in denen die Überlagerungsbewegung einen entgegengesetzten Wert aufweist. Die sich ergebende Schwingung muss nicht symmetrisch sein. Jedoch ist das Integral über ihren positiven Halbwellen gleich dem Integral über ihren negativen Halbwellen.

[0037] Die sich aus der Überlagerungsbewegung V ergebende Kurve IV für den Ort der Fokusebene **9** bzw. des Bildes überlagert sich zu einer Bewegung, in der immer wieder Phasen mit der Geschwindigkeit Null ergeben. In [Fig. 2a](#) entspricht dies einer Treppenfunktion. Aus Sicht der Kamera **5** steht das Bild B, wie in [Fig. 2](#) unten veranschaulicht, somit während Bildaufnahmeintervallen V jeweils ruhig d. h. es hat eine Geschwindigkeit von Null. Die Verarbeitungseinrichtung **14** kann darauf eingerichtet sein, die Geschwindigkeit V insbesondere in den Phasen II jeweils so zu steuern, dass in den Bildaufnahmeintervallen V das Bild zur Ruhe kommt, d. h. die Überlagerungsgeschwindigkeit während dieses Intervalls die Scangeschwindigkeit gerade kompensiert.

[0038] Die Überlagerungsbewegung findet in jeder Periode in vier Phasen statt. In einer ersten Phase a wird das Bildaufnahmesystem zumindest virtuell optisch mit negativer Scangeschwindigkeit V_{Mess} für eine Zeit t_p in Scanrichtung bewegt. Die Bildaufnahme kann erfolgen.

[0039] In einer Phase b bewegt sich das Bildaufnahmesystem (virtuell) mit sinuidentförmiger Beschleunigung für eine Zeit t_2 bis zur Vorlaufgeschwindigkeit V_v . In einer dritten Phase bewegt sich das Bildaufnahmesystem virtuell mit der Geschwindigkeit V_v für die Zeit t_p in Scanrichtung (Überholvorgang). In einer vierten Phase d bewegt sich das Bildaufnahmesystem virtuell mit sinuidentförmigen Beschleunigung, wonach es sich um einen Weg TK in Scanrichtung versetzt befindet. Es kann wiederum ein Bildaufnahmeintervall beginnen. Die Sinuidentbewegung hat bei allen Beschleunigungs- und Bremsvorgängen die Eigenschaft, dass die Ableitungen der Geschwindigkeit V , d. h. V' , V'' und V''' keine Sprünge enthalten. Diese Bedingung wird für alle Sinus- und Cosinusfunktionen erfüllt. Die Beschleunigungs- und Bremspha-

sen können symmetrisch zueinander sein, was einfache und überschaubare Verhältnisse schafft. Dies illustriert das nachfolgende Beispiel:

Scangeschwindigkeit $V_{\text{Mess}} = 1 \text{ mm/Sek.}$

Bildaufnahmefrequenz $F = 100 \cdot 1/\text{Sek.}, \Omega = 2 \pi F$

Periodendauer der Scanfrequenz $TK = 1/F, TK = 0,01 \text{ Sek.}$

[0040] Die Sinuidenfrequenz SF bestimmt die Steilheit der Beschleunigung oder Bremsung. Es wird zunächst vereinfachend davon ausgegangen, dass die Beschleunigungs- und die Bremsrampe bzw. -kurve gleich sind:

Sinuidenfrequenz $SF = 200 \cdot 1/\text{Sek.}, \omega S = 2 \pi SF$

Periodendauer Sinuidenfrequenz $TS = 1/SF, TS = 5 \cdot 10^{-3}/\text{Sek.}$

[0041] Es ergibt sich TP als Bildaufnahmezeit $TP = TK - TS/2, TP = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Sek.}$

[0042] Die Amplitude der Sinuidenfrequenz $AO = V_{\text{Mess}}$

[0043] Es ist jedoch zweckmäßig, die Beschleunigungsrampe schneller als die Bremsrampe zu machen, weil nach der Bremsrampe der Scanvorgang beginnt und auf diese Weise für den Scanvorgang, d. h. die Bildaufnahme mehr Zeit zur Verfügung steht.

[0044] [Fig. 5](#) veranschaulicht eine etwas abgewandelte Ausführungsform der Erfindung, bei der das Messsystem **3** eine Überlagerungsbewegung vollführt, die mindestens eine Schwenkkomponente \dot{U}_1 und gegebenenfalls noch eine Linearkomponente \dot{U}_2 (auf das Messobjekt **2** hin und von diesem weg) vollführt. Wird das Messobjekt zum Scannen im Wesentlichen quer zu dem Messsystem **3** bewegt, kann die Kamera **6** durch eine oszillierende Schwenkbewegung \dot{U}_1 als Ausgleichsbewegung das Kamerabild wie in [Fig. 2](#) veranschaulicht und zuvor beschrieben jeweils für ein kurzes Bildaufnahmeintervall zum stehen gebracht werden.

[0045] Der Vollständigkeit halber sein angemerkt, das das erfindungsgemäße Prinzip auch verwirklicht werden kann, indem das Messsystem **3** eine Scanbewegung und das Messobjekt die Überlagerungsbewegung vollführt. Es ist bei leichten Messobjekten auch möglich, dem Messobjekt sowohl die Scanbewegung als auch die Überlagerungsbewegung zu erteilen. Des Weiteren ist es möglich, dem Messsystem sowohl die Scanbewegung als auch die Überlagerungsbewegung zu erteilen und das Messobjekt in Ruhe verweilen zu lassen.

[0046] Bei einem Messsystem mit optischem Bildaufnahmesystem und Relativbewegung zwischen Messobjekt und Bildaufnahmesystem wird vorgesehen, den Fokuspunkt F des Bildaufnahmesystems **3** in Scanrichtung oszillieren zu lassen, um durch Überlagerung der Oszillationsbewegung des Fokuspunkts mit der Scanbewegung Bildaufnahmeintervalle zu schaffen, während derer der Fokuspunkt F auf der Oberfläche des Messobjekts **2** oder entsprechend das auf den Kamerachip **7** projizierte Bild auf dem Kamerachip **7** ruht. Dies vorzugsweise bei gleichförmiger unbeschleunigter Relativbewegung zwischen Messobjekt und Bildaufnahmesystem. Eine Kantenunschärfe der Bilder wird trotz relativ langer Belichtungszeiten und moderaten Belichtungsintensitäten vermieden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum optischen Messen an einer Oberfläche eines Messobjekts mittels eines Bildaufnahmesystems (**3**) zur Aufnahme eines Bildes, mit folgenden Verfahrensmerkmalen:

– das Messobjekt und das Bildaufnahmesystem werden gegeneinander in einer Scanrichtung mit einer Scangeschwindigkeit bewegt,

– zumindest einer Komponente (**8, 12**) des Bildaufnahmesystems (**3**), die die Position des aufgenommenen Bildes in Bezug auf das Messobjekt (**2**) bestimmt, oder dem Messobjekt (**2**) wird eine oszillierende Überlagerungsbewegung erteilt, wobei die Überlagerungsbewegung anhand der Scangeschwindigkeit so festgelegt wird, dass die Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen dem Messobjekt (**2**) und dem Bild während eines zumindest kurzzeitigen Bildaufnahmeintervalls (v) deutlich geringer als die Scangeschwindigkeit ist oder Null beträgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerungsbewegung einer massearmen Komponente (**8, 12**) des Bildaufnahmesystems (**3**) erteilt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Komponente ein Spiegel ist, und/oder eine Linse ist und/oder ein Prisma ist und/oder eine Parallelplatte ist und/oder ein Gitter und/oder eine Kamera ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Messobjekt während der Messung in Ruhe gehalten und von dem Bildaufnahmesystem sowohl die Scanbewegung als auch die Überlagerungsbewegung erbracht werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass Messobjekt während der Messung zur Ausführung der Scanbewegung bewegt wird und das Bildaufnahmesystem oder Kompo-

nenen desselben die Überlagerungsbewegung ausführen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Geschwindigkeit der Relativbewegung während des Bildaufnahmeintervalls erfasst und die Überlagerungsbewegung über eine Regelung so nachgeführt wird, dass die sich ergebende Relativbewegung während des Bildaufnahmeintervalls exakt Null ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Geschwindigkeit der Scanbewegung erfasst und als Sollwert für die Überlagerungsbewegung genommen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerungsbewegung einer Kurve folgt, deren erste und zweite Zeitableitung stetig ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die oszillierende Bewegung einer symmetrischen Kurve oder einer unsymmetrischen Kurve, einer Sinuskurve, einer Dreieckskurve oder einer Rechteckkurve folgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zu der Überlagerungsbewegung mindestens vier Phasen gehören:

- Messphase zur Schaffung des Bildaufnahmeintervalls mit Relativgeschwindigkeit Null zwischen dem Bild und dem Messobjekt,
- Beschleunigungsphase zur Beschleunigung der Komponente auf eine Vorlaufgeschwindigkeit
- Bewegung der Komponente mit Vorlaufgeschwindigkeit
- Bremsen der Komponente auf Scangeschwindigkeit.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass während jedes Bildaufnahmeintervalls je ein Bild aufgenommen wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass aufgenommenen Bilder zu einem Gesamtbild zusammengefasst werden.

13. Vorrichtung (1) zum optischen Messen an einer Oberfläche eines Messobjekts (2) mittels eines Bildaufnahmesystems zur Aufnahme eines Bildes, mit:

- einer Einrichtung (15) zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen dem Messobjekt (2) und dem Bildaufnahmesystem (3) in einer Scanrichtung mit einer Scangeschwindigkeit,
- einer Einrichtung (13) zur Erzeugung einer oszillierenden Überlagerungsbewegung für zumindest eine Komponente (12) des Bildaufnahmesystems (3), die die Position des aufgenommenen Bildes in Bezug auf das Messobjekt (2) bestimmt, oder für das Mess-

objekt (2), welche die Überlagerungsbewegung anhand der Scangeschwindigkeit so festlegt, dass die Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen dem Messobjekt (2) und dem Bild während eines zumindest kurzzeitigen Bildaufnahmeintervalls (v) deutlich geringer als die Scangeschwindigkeit ist oder Null beträgt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Komponente des Bildaufnahmesystems (3), der die Überlagerungsbewegung erteilt wird, das gesamte Bildaufnahmesystem (3) ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Komponente (12) des Bildaufnahmesystems (13), der die Überlagerungsbewegung erteilt wird, eine massearme Komponente des Bildaufnahmesystems (3) ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Komponente eine bildverschiebende Einrichtung wie z. B. ein Spiegel und/oder eine Linse und/oder ein Prisma und/oder eine Parallelplatte und/oder ein Gitter und/oder eine Kamera ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bewegung der Komponente (12) wenigstens ein Aktuator (13) vorgesehen ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bewegung der Komponente (8, 12) zumindest zwei Aktuatoren vorgesehen sind, mit denen sich das Bild relativ zu dem Messobjekt in voneinander unabhängigen Richtungen verschieben lässt.

19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktoren Piezoaktoren sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

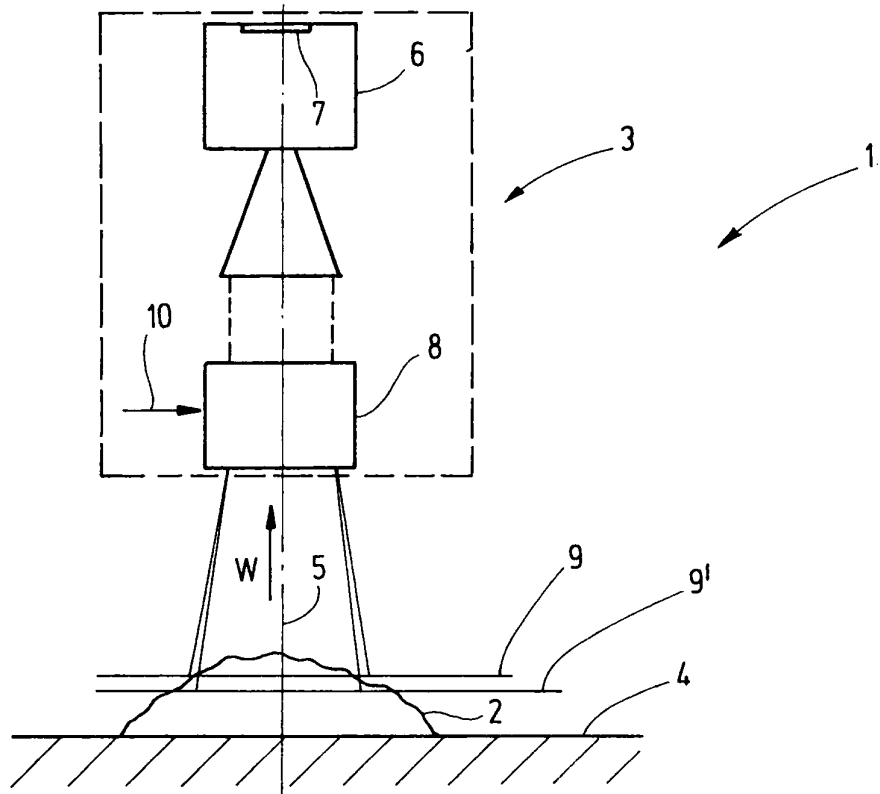


Fig.1

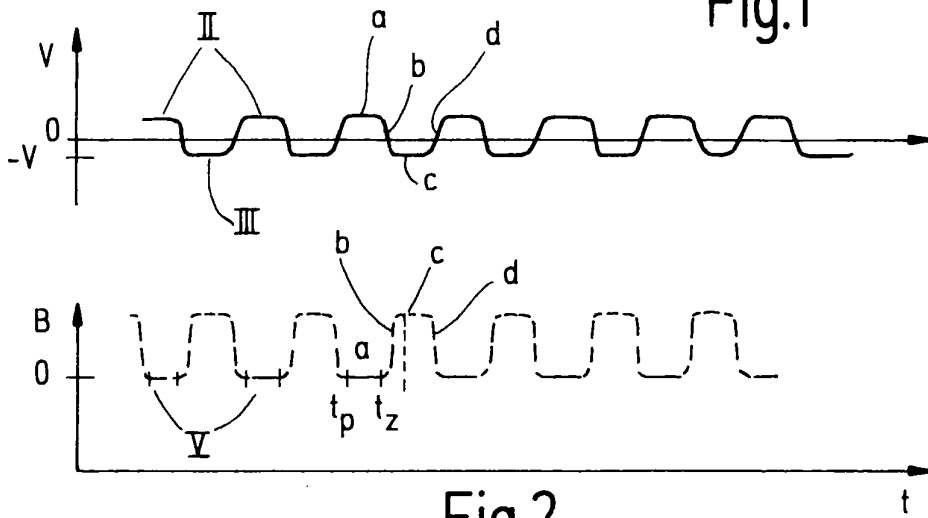


Fig.2

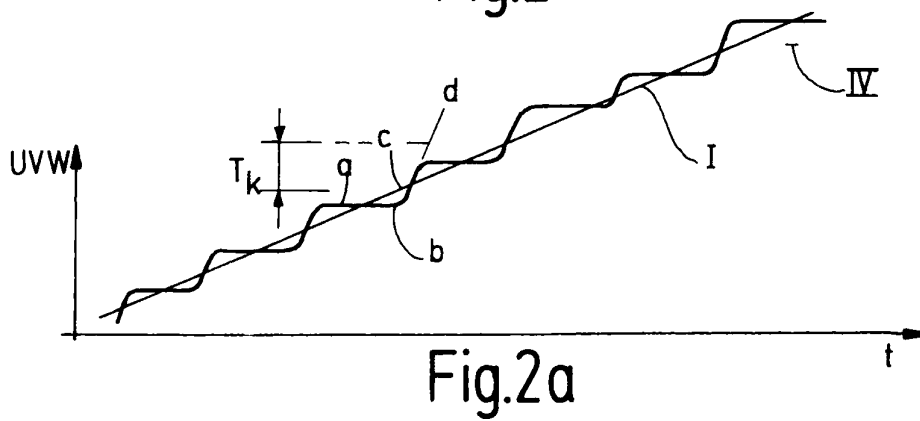


Fig.2a

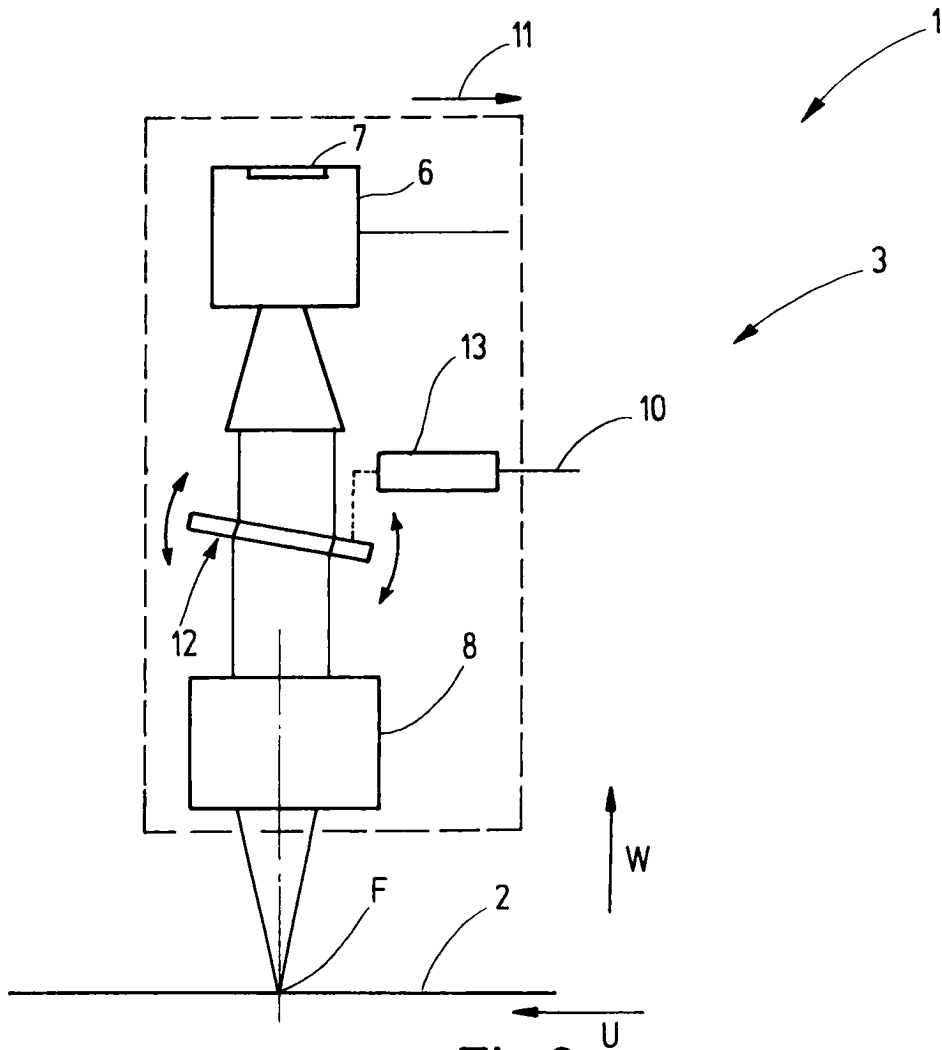


Fig.3

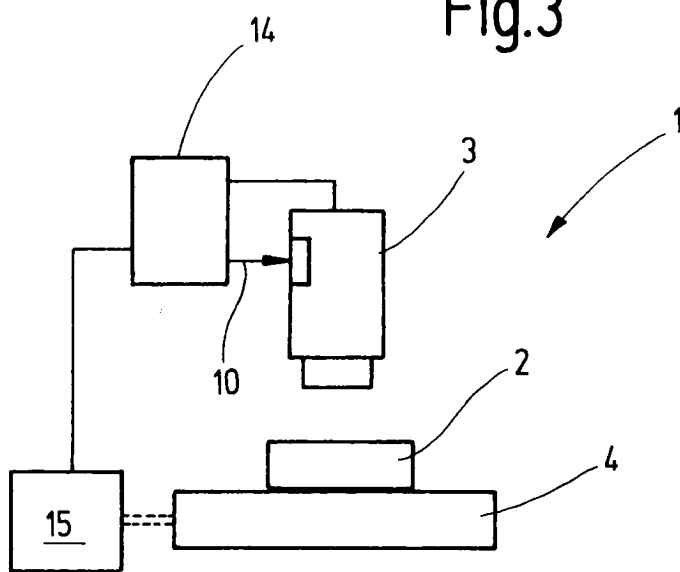


Fig.4

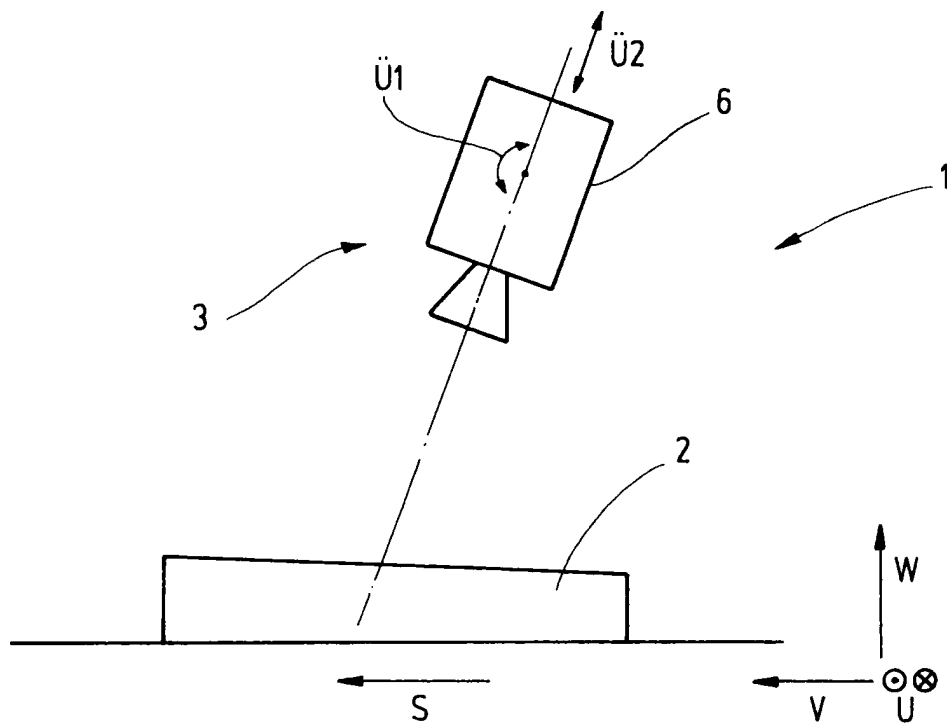


Fig.5