



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 252 236 A1

4(51) G 01 B 11/30

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 B / 293 995 7

(22) 01.09.86

(44) 09.12.87

(71) VEB Carl Zeiss JENA, Carl-Zeiss-Straße 1, Jena, 6900, DD

(72) Darr, Claus-Peter, Dipl.-Ing.; Pflug, Reinhard, Dipl.-Ing., DD

(54) Anordnung zur Rauheitsprüfung nach dem Streulichtverfahren

(55) Rauheitsprüfung, Streulichtverfahren, Oberflächenprüfung, Lichtleitfasern, Fotoempfängerarrays, Reflexminderung, Referenzstrahlengang, Meßstrahlengang, Abschattkanäle, ebene und sphärische Oberflächen, berührungslos

(57) Die Erfindung ist geeignet zur Rauheitsprüfung ebener und sphärischer Oberflächen hoher Oberflächengüte, insbesondere für die Oberflächenprüfung optischer Bauelemente. Die Erfindung besteht darin, daß bei einer Anordnung bestehend aus Lichtquelle, Strahlenteiler, Referenzfotoempfänger, Prüflingsaufnahme und fotoelektrische Empfangseinrichtung für Streulicht, die mit einem Rechner gekoppelt ist, die Streulichterfassung mittels zum Streuzentrum bogenförmig ausgerichteten Lichtleitfaserbündeln erfolgt. Den Lichtleitfaserbündeln sind eingangsseitig Abschattkanäle zugeordnet und ausgangsseitig je ein Fotoempfänger eines Fotoempfängerarrays. Ebenfalls zur Vermeidung von störenden Reflexen sind die Abschattkanäle einschließlich der Lichtleitfaserbündel bezüglich der Prüflingsoberfläche azimuthal schwenkbar angeordnet, wobei die Lichtleitfaserbündel flexibel ausgeführt sind. Fig. 1

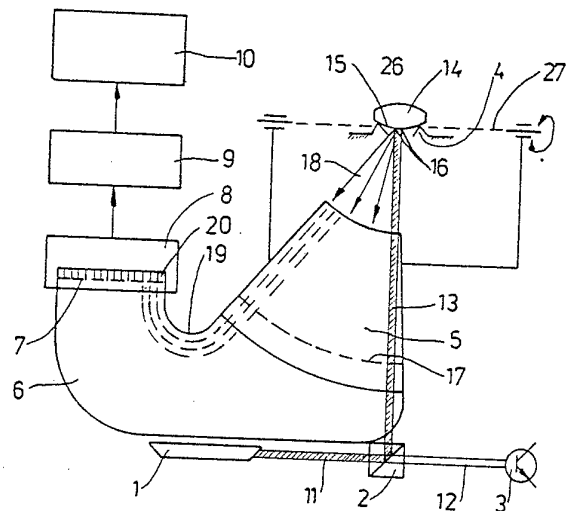


Fig. 1

Patentansprüche:

1. Anordnung zur Rauheitsprüfung nach dem Streulichtverfahren, bestehend aus einer Lichtquelle, einem Strahlenteiler zur Aufspaltung des von der Lichtquelle ausgehenden Strahles in einen Meßstrahl und einen Vergleichsstrahl und einem im Vergleichsstrahl angeordneten fotoelektrischen Empfänger, weiterhin bestehend aus einer im Meßstrahl angeordneten verstellbaren Prüflingsaufnahme und einer fotoelektrischen Empfangseinrichtung für von der Prüflingsoberfläche ausgehendes Streulicht, die mit einem Rechner in Verbindung steht, **dadurch gekennzeichnet**, daß die fotoelektrische Empfangseinrichtung aus mit ihren Lichteintrittsflächen (17) zum Streuzentrum (16) bogenförmig ausgerichteten Lichtleitfaserbündeln (19) zur Erfassung jeweils eines definierten Streuwinkelbereiches besteht, vor deren Lichteintrittsflächen (17) als Schlitzblende wirkende Abschattkanäle (5), deren Lichteintrittsöffnungen ebenfalls bogenförmig zum Streuzentrum (16) ausgerichtet sind, angeordnet sind, und hinter deren Lichtaustrittsflächen je ein fotoelektrischer Empfänger (20) der fotoelektrischen Empfangseinrichtung angeordnet ist, und daß die Abschattkanäle (5) einschließlich der damit verbundenen Lichtleitfaserbündel (19) bezüglich des Streuzentrums (16) auf der Oberfläche des Prüflings (14) azimutal schwenkbar angeordnet sind, wobei die geordneten Lichtleitfaserbündel (19) an mindestens einer Stelle zwischen Lichteintrittsfläche (17) und Lichtaustrittsfläche flexibel angeordnet sind.
2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Abschattkanäle (21) alternierend in zwei Halbsegmenten (22; 23) verlaufen, die konisch auf einen Punkt zulaufende Nuten aufweisen, welche reflektionsverhindernde Innenflächen (24; 25) besitzen.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Anzahl der Lichtleitfaserbündel (19) pro Winkelbereich vom direkten Reflex ausgehend in Richtung größer werdender Streuwinkel abnehmend ist.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung ist anwendbar zur berührungslosen Rauheitsprüfung ebener und sphärischer Oberflächen hoher Oberflächengüte. Auf Grund ihrer Konstruktion ist die Vorrichtung besonders geeignet für die Oberflächenprüfung optischer Bauelemente. Darüber hinaus ist sie überall dort einsetzbar, wo die Rauheit einer qualitativ hochwertigen Oberfläche im Vergleich zu einem Normal automatisch geprüft werden soll.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die bezüglich der Oberflächenrauheit hochwertigsten Oberflächen werden in der optischen und mikroelektronischen Industrie erzeugt. Die Restrauheit dieser Oberflächen liegt im Bereich von 0,1 nm bis 10 nm. Zur meßtechnischen Auflösung derart geringer Rauhtiefen werden berührend wirkende Profilometer oder berührungslos wirkende optische Meßanordnungen verwendet. Die Profilometer (Tastschnittgeräte) erfordern einen hohen Justieraufwand und sind auf Grund der thermischen und Erschütterungsempfindlichkeit nur im Labor anwendbar. Darüber hinaus besteht auf Grund des hohen Kontaktfächendruckes der Tastnadelspitze stets die Gefahr der Oberflächenzerstörung. (Bennett, J. M.: Stylus profiling instrument for measuring statistical properties of smooth optical surfaces. Appl. Optics 20 [1981] 10, S. 1785)

Von den berührungslosen, optischen Anordnungen erreichen nur Heterodyninterferometer und Streulichtmeßanordnungen die erforderliche Empfindlichkeit.

Heterodyninterferometrische Scananordnungen sind in der Lage, Rauheitsprofile mit einer absoluten Vertikalauflösung von 0,1 nm zu realisieren. Die durch sie ermittelten Rauheitsprofile sind mit Profilometertastschnitten vergleichbar.

Die heterodyninterferometrischen Meßanordnungen sind bisher nur im Laborbetrieb einsetzbar. (Som margre u, G. E. Optical heterodyn profilometry. Appl. Optics 1980; Zhou, Z. F.: Untersuchungen über ein fotoelektrisches Interferenz-Meßmikroskop mit Zweifrequenzlaser zum Messen von Feinstrukturen, PTP-Mitteilungen 94 [1984], S. 15)

Andere interferometrische Anordnungen setzen eine Vorbehandlung, wie z. B. eine Teilverspiegelung, der Probe voraus. (z. B. Bennett, J. M.: Measurement of the rms roughness, autocovariance function and other statistical properties of optical surfaces using a FECO scanning interferometer. Appl. Optics 16 [1976] 11, S. 2705)

Weitere bekannte Streulichtmeßanordnungen sind aufgrund ihres Wirkprinzipes nur für Rauheitsbereiche über 100 nm einsetzbar (z. B. Gast, T.: u. a.: Optische Meßverfahren zur Bestimmung von Maß, Form und Oberflächengüte, VDI-Berichte, Nr. 408 München 1981).

Sawatari, T.: Optical profile transducer. SPIE 153 Advances in optical metrology [(1978)];

Schwab, G.: Optisches Messen der Oberflächenrauigkeit, Metalloberfläche 39 [1985] 2, S. 51)

Streulichtmeßanordnungen für Rauhtiefen wesentlich unter 100 nm sind als TIS- und ARS-Anordnungen (TIS = total integrated scattering; ARS = angle resolved scattering) bekannt geworden. Bei der TIS-Messung wird das gesamte von der Probe rückgestreute Licht integral erfaßt. TIS-Meßanordnungen sind besonders geeignet zur Vergleichsmessung mit einem Prüfnormal und erfordern einen relativ geringen Aufwand. Sie stellen jedoch Anforderungen an die Probengeometrie und eignen sich nicht für sphärische und transparente Proben. (Elson, J. M.: Relationship of the total integrated scattering from multilayer-coated optics to angle of incidence, polarisation, correlation length, and roughness cross-correlation properties. Appl. Optics 22 [1983] S. 3207)

ARS-Meßanordnungen ermitteln die Streuindikatrix, d. h. einen linearen Schnitt durch die von der Probe ausgehende Streulichtverteilung. Aus der Streuindikatrix lassen sich sowohl horizontale und vertikale Rauheitsparameter berechnen als auch einfache Vergleichswerte zu Normalindikatrixen feststellen.

Nachteilig bei bekannten ARS-Meßanordnungen ist jedoch, daß diese den Rauheitsbereich polierter optischer und mikroelektronischer Oberflächen nur durch voluminöse Goniometeranordnungen und aufwendige Empfängertechnik erreichen, um ebene transparente Prüflinge durch winkelauflösende Streulichtmessung gegenüber einem Normal zu prüfen.

Für sphärische transparente Prüflinge sind ARS-Meßanordnungen nicht geeignet. (1981, München. Sawatari, T.; u. a.: Optical profile transducer. SPIE 153 [1978] Advances in optical metrology;

Schwab, O.: Optisches Messen der Oberflächenrauigkeit. Metalloberfläche 39 [1985] S. 51)

Ziel der Erfindung.

Ziel der Erfindung ist es, eine Anordnung zur Rauheitsprüfung zu schaffen, die mit geringem Aufwand und hoher Auflösung eine qualitative Angabe der Oberflächenrauheit ebener und sphärischer Oberflächen in bezug auf ein Normal unter produktionsnahen Bedingungen erlaubt.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Als Aufgabe der Erfindung steht die Entwicklung einer Anordnung, die die berührungslose Prüfung der Rauheit ermöglicht, wobei bei einem Aufbau mit einfachen Mitteln keine Meßfehler durch nicht von der zu prüfenden Oberfläche herrührenden Streulicht entstehen.

Die erfindungsgemäße Anordnung besteht aus einem an eine Lichtquelle angekoppelten Meßkopf und einem angeschlossenen Rechner. Der Meßkopf enthält eine Ringschneide zur Prüflingsaufnahme, ein faseroptisches Empfängersegment, ein Fotoempfängerarray und einen Strahlenteiler. Der Mikrorechner steuert über ein spezielles Interface die Abfrage der Fotoempfänger und stellt das Meßergebnis numerisch und grafisch dar.

Die Bewertung der Oberflächenrauheit erfolgt in bezug zu einem Prüfnormal durch Vergleich der Streuindikatrixen.

Das von der Lichtquelle kommende Lichtbündel wird durch einen Strahlenteiler in einen Meß- und einem Vergleichsstrahlengang in einem Verhältnis von beispielsweise 99:1 geteilt. Der Vergleichsstrahl endet an einem separaten Fotoempfänger. Die von ihm registrierte Intensität ist die Normierungsintensität.

Der Meßstrahl trifft auf den durch die Ringschneide gehaltenen Prüfling. Dabei kann die Ringschneide definiert höhenverstellbar sein, um den Auftreffpunkt des Meßstrahls auf der Prüflingsoberfläche für verschiedene Prüflingsradien geometrisch an den gleichen Ort zu legen.

Ein geringer Teil des auftreffenden Lichtes wird durch die Oberflächenrauheit des Prüflings gestreut. Entsprechend der Meßstrategie winkelaufgelöster Streuindikatrixmessungen ist es ausreichend, die räumliche Streulichtverteilung in einem ebenen Schnitt zu erfassen. Dies wird durch das faseroptische Empfängersegment realisiert. Es besteht aus einem zum Streuzentrum zentrisch ausgerichteten dicht gepacktem Lichtleitfaserbündel, vor dem ein System aus Abschaltkanälen als Schlitzblenden angeordnet ist. Das Lichtleitfaserbündel erfaßt vorzugsweise den Streuwinkelbereich von $-1,6^\circ$ bis 40° . Zur winkelauflösenden Messung ist das Lichtleitfaserbündel ausgangsseitig in Einzelbündel unterteilt, die jeweils einen definierten Streuwinkelbereich auf der Eintrittsfläche des Lichtleitfaserbündels zugeordnet sind. Jedes Einzelbündel führt zu einem einzelnen Fotoempfänger des Fotoempfängerarrays.

Die Winkelauflösung bei der Unterteilung des Lichtleitfaserbündels in Einzelbündel kann dem Verlauf der Streuindikatrix angepaßt werden. Im Nahwinkelbereich, d. h. nahe dem direkten Reflex, wo die Streuindikatrix im allgemeinen steil abfällt, kann eine enge Abstützung z. B. $0,2^\circ$ gewählt werden, während im Fernwinkelbereich, wo ein flacher Verlauf der Streuindikatrix zu erwarten ist, eine grobe Abstützung z. B. 2° realisiert werden kann. Zwischen diesen Grenzbereichen können Übergangsbereiche mit einer Abstützung von beispielsweise $0,5^\circ$ und 1° existieren.

Das vor dem Lichtleitfaserbündel eingangsseitig angeordnete System von Abschaltkanälen hat die Aufgabe, die Empfängerfläche bzw. Eintrittsfläche des Lichtleitfaserbündels vor dem Streulicht der Prüflingsrückseite zu schützen, da sonst eine Verfälschung des Meßergebnisses erfolgt. Jeder Abschaltkanal kann mit einem speziellen Streulichtblendensystem versehen werden, um das Auftreten von Sekundärstreulicht zu verhindern.

Zur Ausblendung des Rückflächenreflexes im Nahwinkelbereich und für dünne Prüflinge besteht die Möglichkeit das faseroptische Empfängersegment azimuthal zu schwenken. Die gemessene Streuindikatrix liegt dann nicht in der Einfallsebene. Da die Oberflächenbewertung im Vergleich zu einem Prüfnormal, das unter gleichen Bedingungen vermessen wird, erfolgt, bedeutet das keine Einschränkung. Von der Prüflingsoberfläche ausgehendes Streulicht weist nur eine geringe Intensität auf. Um sie insbesondere mit Fototransistoren registrieren zu können, wird über ein vom Mikrorechner gesteuertes Interface der empfindlichkeitsgesteigerte PFI-Mode (PFI = Photon Flow integration) realisiert. Der Mikrorechner bestimmt dabei automatisch die für den jeweiligen Fototransistor erforderliche Integrationszeit.

Das Interface kann folgende Baugruppen enthalten:

Analogmultiplexer, Sample & Hold, Analog-Digital-Wandler (ADU), Ein-/Ausgabebaustein (PIO) und Zähler-/Zeitgeber-Baustein (CTC).

Die Betriebsweise im PFI-Mode beruht auf der Entladung der inneren Sperrschichtkapazitäten durch den Fotostrom der Kollektor-Basis-Diode nach abfallender Flanke der Betriebsspannung.

Der Entladungsgrad der Sperrschichtkapazität entspricht dem integralen Maß des Fotonenflusses während der Integrationszeit und wird zur Anzeige gebracht, indem die Ladung gemessen wird, die notwendig ist, um die Sperrschichtkapazität wieder aufzuladen. Die Empfindlichkeit ist dabei durch Wahl der Integrationszeit in bestimmten Grenzen einstellbar.

Zur Realisierung der Messung werden die einzelnen Fototransistoren über den Analogmultiplexer mit dem Sample & Hold verbunden. Durch einen von der CTC erzeugten Rechtecktakt wird der entsprechende Fototransistor periodisch mit der Betriebsspannung verbunden und wieder abgeschaltet. Während der Abschaltphase entlädt sich die Sperrschichtkapazität aufgrund des einfallenden Photonenstromes. Beim erneuten Zuschalten der Betriebsspannung wird die Sperrschichtkapazität wieder aufgeladen wobei der Sample & Hold die Höhe der dabei auftretenden Spannungsspitze registriert. Sie ist ein Maß für die Intensität des während der Entladungsphase eingefallenen Lichtes. Die am Ausgang des Sample & Hold anliegende Spannung wird über ADU und PIO vom Mikrorechner übernommen und abgespeichert. Die PIO steuert außerdem über den Analogmultiplexer die Anwahl der einzelnen Fototransistoren.

Bei der Messung wird zunächst die Streuindikator eines Prüfnormals aufgenommen und im Rechner gespeichert.

Anschließend werden die Prüflinge vermessen. Nach Auflegen des Prüflings und Starten des Meßvorganges realisiert der Rechner die Abfrage der einzelnen Fotoempfänger des Meßstrahlenganges jeweils alternierend mit der Ermittlung der Normierungsintensität durch Abfrage des Fotoempfängers des Vergleichsstrahlenganges zur Eliminierung von Schwankungen der Lichtquelle. Bei jeder Fotoempfängerabfrage wird dabei zunächst geprüft, ob die Integrationszeit im erforderlichen Bereich liegt. Ist das nicht der Fall, wird sie entsprechend variiert.

Der Prüferentscheid wird durch Vergleich der Streuindikatoren von Prüfnormal und Prüfling getroffen und kann visuell an Hand des Rechnerdisplays oder automatisch, z. B. durch Berechnung der Differenzfläche zwischen den Indikatoren, erfolgen.

Ausführungsbeispiel

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend an Hand von vier Figuren noch näher erläutert. Im einzelnen zeigt:

Figur 1: ein Schema der erfindungsgemäßen Anordnung,

Figur 2: eine Ausführungsform von Abschattkanälen,

Figur 3: eine Ausführungsform für eine Bodenlichtfalle und seitliche Lichtfalle innerhalb von Abschattkanälen,

Figur 4: ein Schema einer Auswerteeinheit zur Rauheitsprüfung

Die erfindungsgemäße Anordnung besteht nach Figur 1 aus einem Laser 1, einem Teilerwürfel 2, einem Fototransistor 3, einer Ringschneide 4, einem Abschattkanalsystem 5, und aus geordneten Lichtleitfaserbündeln 6 an deren Lichtaustrittsflächen 7 ein Fototransistorarray 8 angekoppelt ist. Dem Fototransistorarray 8 ist ein Interface 9 und ein Rechner 10 nachgeschaltet.

Das aus dem Laser 1 austretende Laserbündel 11 wird durch den Teilerwürfel 2 in den Vergleichsstrahl 12 und den Meßstrahl 13 aufgespalten. Die Intensität des Vergleichsstrahls 12 wird durch den Fototransistor 3 registriert.

Der Meßstrahl 13 trifft auf den Prüfling 14. Durch die höhenverstellbare Ringschneide 4 wird der Prüfling 14 in Abhängigkeit von der Oberflächenkrümmung der Meßfläche 15 so justiert, daß der Auftreffpunkt 16 des Meßstrahles 13 auf der Meßfläche 15 des Prüflings 14 stets im Krümmungsmittelpunkt der Lichtleitfaserbündeleintrittsfläche 17 liegt.

Das vom Auftreffpunkt 16 ausgehende, durch die Oberflächenrauheit verursachte Streulicht 18 gelangt durch das Abschattkanalsystem 5 zur Lichtleitfasereintrittsfläche 17. Über das geordnete Lichtleitfaserbündel 6 gelangt das Streulicht 18 streuwinkelabhängig zum Fototransistorarray 8. Dazu ist das geordnete Lichtleitfaserbündel 6 fototransistorarrayseitig in Einzelbündel 19 derart aufgespalten, daß jedem Fototransistor 20 des Fototransistorarrays 8 ein Streuwinkelbereich auf der Lichtleitfaserbündeleintrittsfläche 17 zugeordnet ist.

Die Abschattkanäle 21 des Abschattkanalsystems 5 sind wie in Figur 2 dargestellt alternierend auf zwei Halbsegmente 22 und 23 verteilt. Jeder Abschattkanal 23 ist seitlich und auf der Bodenfläche mit einem in Figur 3 dargestellten Lichtfallensystem 24 bzw. 25 versehen. Es garantiert die Unterdrückung von Sekundärstreulicht innerhalb der Abschattkanäle 21, das durch seitlichen Lichteinfall z. B. vom Streufleck der Prüflingsrückseite 26 verursacht werden könnte. Zur Verbesserung der

Streufleckausblendung der Prüflingsrückseite 26 ist das Abschattkanalsystem 5 und das daran befestigte Lichtleitfaserbündel 6 um eine Achse 27 schwenkbar. Die Achse 27 verläuft durch den Auftreffpunkt 16. Jeder Fototransistor 20 des Fototransistorarrays 8 sowie des Fototransistor 3 ist emitterseitig über eine separate Leitung mit dem Interface 9 verbunden, welches in Figur 4 näher dargestellt ist. Dort werden die Fototransistoren 20 einzeln nacheinander über einen Multiplexer 28 mit einem Sample & Hold 29 verbunden. Die zur Messung erforderliche Rechteckspannung erhalten alle Fototransistoren 20 gemeinsam kollektorseitig von einer Triggerschaltung 30. Sie wird vom Rechner 10 über eine CTC 31 angesteuert und bestimmt die Integrationszeit.

Den Meßwert übernimmt der Rechner 10 über eine PIO 32 und einem Analog-Digital-Wandler 33 von der Sample & Hold-Schaltung 29. Die Anwahl der einzelnen Fototransistoren 20 erfolgt vom Rechner 10 gesteuert über die PIO 32 und eine Dekodierschaltung 34.

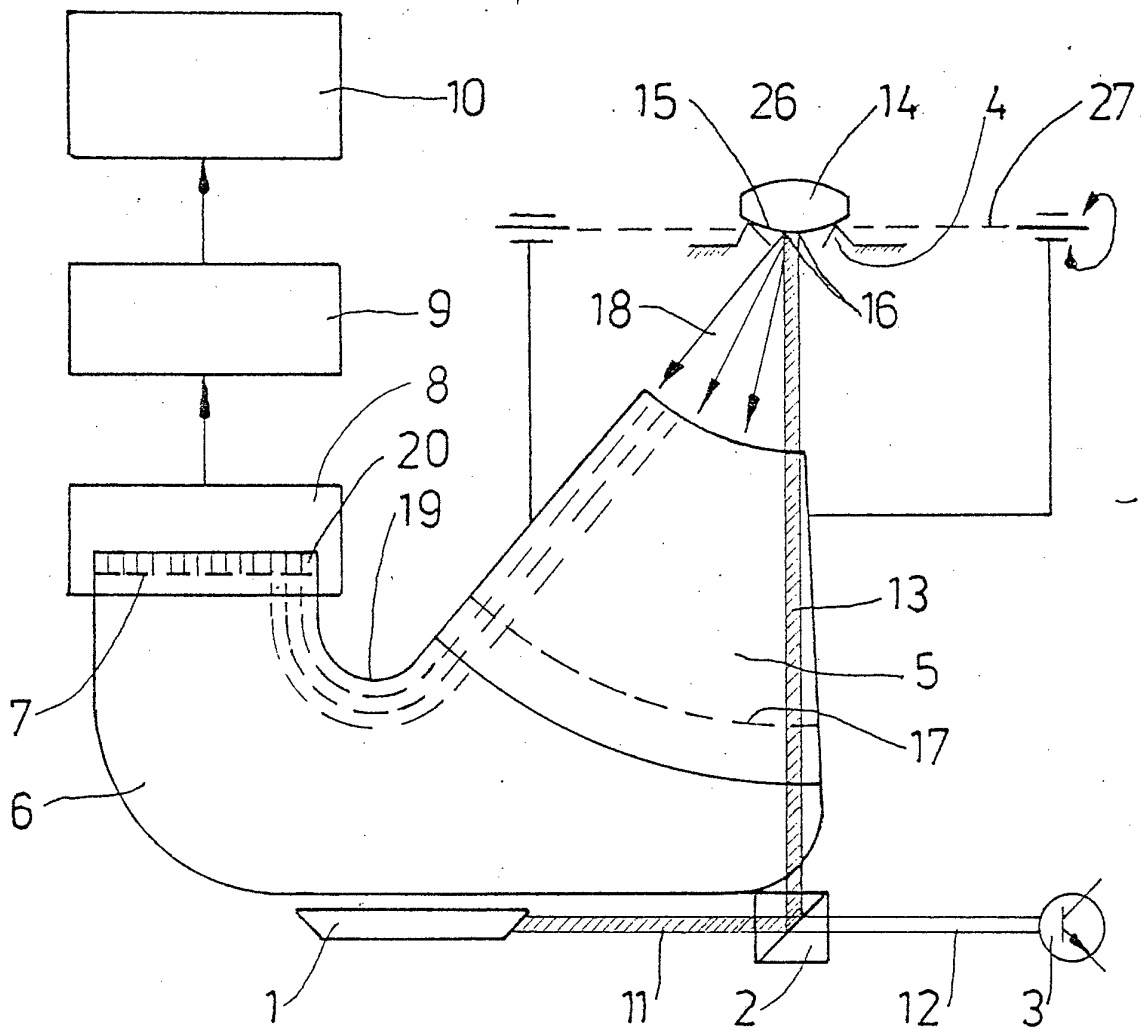


Fig. 1

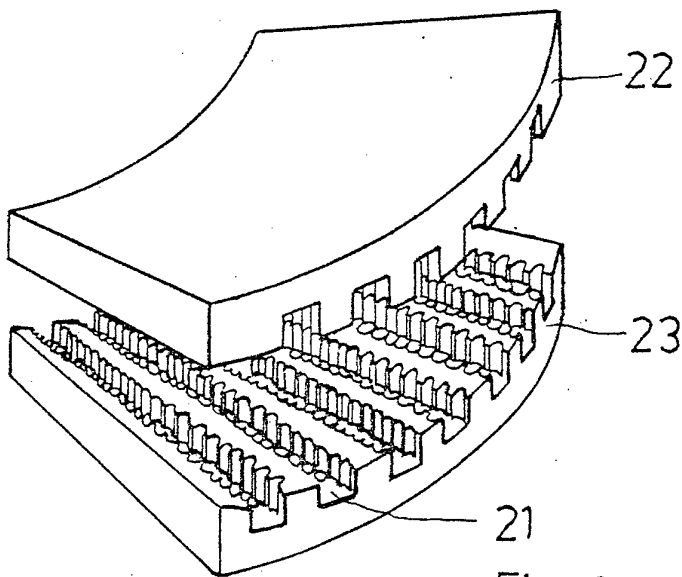


Fig. 2

