



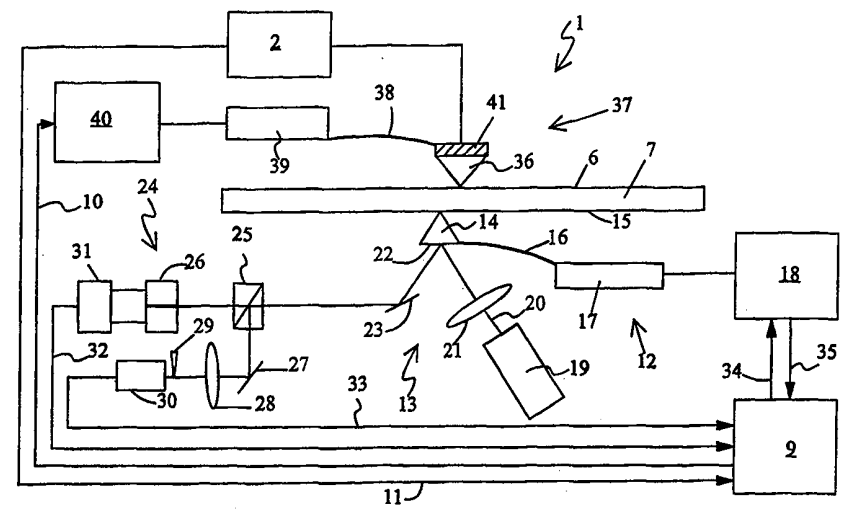
<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01H 3/12</p>	<p>A2</p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/02948 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 21. Januar 1999 (21.01.99)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/01825 (22) Internationales Anmeldedatum: 26. Juni 1998 (26.06.98) (30) Prioritätsdaten: 197 29 280.1 9. Juli 1997 (09.07.97) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ARNOLD, Walter [DE/DE]; Fliederstrasse 40, D-66119 Saarbrücken (DE). KULIK, Andrzej [CH/CH]; 18, Maladière, CH-1022 Chavannes (CH). (74) Anwalt: RACKETTE PARTNERSCHAFT; Kaiser-Joseph-Strasse 179, Postfach 13 10, D-79013 Freiburg (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i></p>	

(54) Title: ULTRASONIC MICROSCOPE

(54) Bezeichnung: ULTRASCHALLMIKROSKOP

(57) Abstract

The invention relates to an ultrasonic microscope having an ultrasonic emitter (1) with which ultrasonic waves can be selectively injected into a sample body (7) in proportion to the dimensions of said sample body. Ultrasonically induced excursions of a receiving point (14) can be detected, preferably with atomic resolution, by using an ultrasonic detector (13) that measures with high-sensitivity resolution. The ultrasonic emitter (1) and the ultrasonic detector (13) can be positioned in relation to each other. The ultrasonic detector (13) can adopt several receiving positions for each emitting position of the ultrasonic emitter (1). Measuring data, assigned to the induced excursions and to the positions of the ultrasonic emitter (1) and of the ultrasonic detector (13), can be stored in a central unit (9) and reused by means of a reconstruction unit with a tomographic algorithm. In this way, an image of at least one area inside the sample body (7) is generated.



In this way, an image of at least one area inside the sample body (7) is generated.

(57) Zusammenfassung

Bei einem Ultraschallmikroskop ist ein Ultraschallsender (1) vorgesehen, mit dem im Verhältnis zu den Abmessungen eines Probenkörpers (7) punktuell Ultraschallwellen in den Probenkörper (7) einkoppelbar sind. Mit einem orts aufgelöst messenden Ultraschalldetektor (13) sind mit vorzugsweise atomarer Auflösung ultraschallinduzierte Auslenkungen einer Empfangsspitze (14) detektierbar. Der Ultraschallsender (1) und der Ultraschalldetektor (13) sind relativ zueinander positionierbar, wobei an jeder Sendeposition des Ultraschallsenders (1) der Ultraschalldetektor (13) an mehreren Empfangspositionen positionierbar ist. In einer Zentraleinheit (9) sind den Amplituden der eingekoppelten Ultraschallwellen, den induzierten Auslenkungen sowie den Positionen des Ultraschallsenders (1) und des Ultraschalldetektors (13) zugeordnete Meßdaten abpeicherbar und mittels einer Rekonstruktionseinheit mit einem tomographischen Algorithmus zur Erzeugung eines Bildes wenigstens eines innenliegenden Bereiches des Probenkörpers (7) aufarbeitbar.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshjan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Ultraschallmikroskop

Die Erfindung betrifft ein Ultraschallmikroskop mit einem Ultra-
5 schallsender, mit dem in einem Probenkörper Ultraschallwellen
einkoppelbar sind, mit einem auf der dem Ultraschallsender gegen-
überliegenden Seite des Probenkörpers angeordneten Ultraschall-
detektor, mit dem die in den Probenkörper eingekoppelten Ul-
traschallwellen detektierbar sind und der relativ zu dem Probenkör-
10 per positionierbar ist, und mit einer Zentraleinheit, mit der bei
einer Abfolge von Stellungen des Ultraschalldetektors relativ zu
dem Probenkörper den Amplituden der eingekoppelten Ultraschall-
wellen sowie den Amplituden der mit dem Ultraschalldetektor
erfaßten Ultraschallwellen zugeordnete Meßdaten speicherbar und
15 verarbeitbar sind.

Eine derartige Vorrichtung ist aus DE 43 24 983 A1 bekannt. Bei
der gattungsgemäßen Vorrichtung ist ein Ultraschallsender vor-
gesehen, mit der ein Probenkörper in seiner Gesamtheit mit Ul-
20 traschallwellen durchschallbar ist. Weiterhin verfügt die vorbe-
kannte Vorrichtung über einen orts aufgelöst messenden Ultra-
schalldetektor in Gestalt eines atomaren Kraftmikroskopes, mittels
dem an einer Detektionsoberfläche des Probenkörpers auftretende
ultraschallinduzierte Deformationen über Auslenkungen einer
25 Empfangsspitze des Kraftmikroskopes erfaßbar sind. Dadurch sind
bei sehr hohem örtlichen Auflösungsvermögen Elastizitätseigen-
schaften des Probenkörpers meßbar. Allerdings weist die bekannte
Vorrichtung den Nachteil auf, daß allenfalls über den Durchtritts-
bereich der Ultraschallwellen gemittelte Meßwerte erfaßbar sind.

30
Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Ultraschall-
mikroskop der eingangs genannten Art zu schaffen, mit der auch
Informationen über räumlich begrenzte Bereiche im Inneren des
Probenkörpers gewinnbar sind.

35

Diese Aufgabe wird bei einem Ultraschallmikroskop der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß die Ultraschallwellen mit dem Ultraschallsender im Verhältnis zu Abmessungen des Probenkörpers punktuell in den Probenkörper einkoppelbar sind, daß der
5 Ultraschallsender und der Ultraschalldetektor unabhängig voneinander am Probenkörper positionierbar sind und daß eine Rekonstruktionseinheit vorgesehen ist, mit der aus den an mehreren Sendepositionen von dem Ultraschallsender ausgesendeten und an mehreren Empfangspositionen in bezug auf jede Sendeposition
10 von dem Ultraschalldetektor erfaßten Ultraschallamplituden wenigstens ein Bild innenliegender Bereiche des Probenkörpers erzeugbar ist.

Dadurch, daß mit dem Ultraschallsender punktuell Ultraschallwellen in den Probenkörper einkoppelbar sind und daß der Ultraschallsender sowie der Ultraschalldetektor relativ zueinander in unabhängiger Weise positionierbar sind, wobei mit dem Ultraschalldetektor bei jeder Sendeposition des Ultraschallsenders an mehreren Empfangspositionen Ultraschallamplituden erfaßbar sind,
15 lassen sich Meßdaten gewinnen, mit denen mittels der Rekonstruktionseinheit beispielsweise auf der Grundlage von bekannten tomographischen bildgebenden Verfahren innenliegende Bereiche des Probenkörpers scharf abbildbar sind.

25 In einer bevorzugten Ausgestaltung weist der Ultraschalldetektor ein Kraftmikroskop mit einer Auflösung vorzugsweise im atomaren Bereich bis einigen 10 Nanometern auf. In einer weiteren Ausgestaltung verfügt der Ultraschalldetektor über ein Tunnelmikroskop mit einer Auflösung vorzugsweise im atomaren Bereich bis einigen
30 10 Nanometern.

Bei dem Einsatz eines Kraftmikroskopes ist es zweckmäßig, eine optisch oder kapazitiv arbeitende Detektionseinheit zum Erfassen der Auslenkungen einer Empfangsspitze des Kraftmikroskopes
35 vorzusehen.

In verschiedenen Ausgestaltungen sind als Ultraschallsender eine mit einem Ultraschallwandler gekoppelte, fokussierende Ultraschalllinse, eine mit einem Ultraschallwandler gekoppeltes Kraftmikroskop oder eine eine Anregungslichtquelle, einen Modulator
5 und eine Fokussieroptik aufweisende optische Einheit zum Erzeugen von Ultraschallwellen auf der Grundlage des thermoelastischen Effektes vorgesehen.

Zum Erzeugen eines dreidimensionalen Bildes des Probenkörpers
10 ist vorgesehen, daß der Ultraschallsender über die ankoppelseitige Oberfläche des Probenkörpers an einer Vielzahl von Sendepositionen in einem dem örtlichen Auflösungsvermögen des Ultraschallsenders entsprechenden Raster und der Ultraschalldetektor an jeder Sendeposition des Ultraschallsenders an mehreren Empfangspositionen an einer der ankoppelseitigen Oberfläche gegenüberliegenden Detektionsoberfläche ebenfalls ihrem örtlichen
15 Auflösungsvermögen entsprechenden Raster über eine detektionsseitige Oberfläche des Probenkörpers in einem Bereich positioniert wird, in dem ultraschallinduzierte Deformationen der Detektionsoberfläche erfaßbar sind. Auf diese Weise sind Daten gewinnbar, aus denen ein vollständiges dreidimensionales Bild des Probenkörpers oder Bilder beliebiger Schnitte rekonstruierbar sind.
20

Selbstverständlich ist es auch zweckmäßig, eine Probenkörperverschiebevorrichtung vorzusehen, mit der der Probenkörper relativ zu dem Ultraschallsender verschiebbar ist, so daß eine Durchschallung an weiteren Sendepositionen durchführbar ist.
25

Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezug auf die Figuren der Zeichnung. Es zeigen:
30

- Fig. 1 in einem Blockschaltbild ein Ausführungsbeispiel eines Ultraschallmikroskops mit einer Ultraschalllinse zur punktuellen Einkopplung von Ultraschallwellen,
- 5 Fig. 2 in einem Blockschaltbild ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Ultraschallmikroskops mit einem atomaren Kraftmikroskop zur punktuellen Einkopplung von Ultraschallwellen,
- 10 Fig. 3 in einem Blockschaltbild ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Ultraschallmikroskops mit einem gegenüber dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 abgewandelten Kraftmikroskop,
- 15 Fig. 4 in einem Blockschaltbild ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Ultraschallmikroskops mit einer optischen Einrichtung zum punktuellen Erzeugen von Ultraschallwellen und
- 20 Fig. 5 in einem Blockschaltbild ein Ausführungsbeispiel einer Zentraleinheit eines Ultraschallmikroskops.

Fig. 1 zeigt in einem Blockschaltbild ein Ausführungsbeispiel eines Ultraschallmikroskops. Das Ultraschallmikroskop gemäß Fig. 1
25 verfügt über einen Ultraschallsender 1, der einen an einen Hochfrequenzgenerator 2 angeschlossenen Ultraschallwandler 3 aufweist. Der Ultraschallwandler 3 ist mit einer Ultraschalllinse 4 gekoppelt, mit der ein Ultraschallstrahl 5 auf eine Einkoppeloberfläche 6 eines Probenkörpers 7 fokussierbar ist. Der Durchmesser
30 des Brennflekes der Ultraschalllinse 4 liegt typischerweise im Bereich von einigen Mikrometern bis wenigen 10 Mikrometern und hat damit im Vergleich zu der Größe von typischen makroskopischen Probenkörpern 7 eine punktuelle Größe. Der Ultraschallwandler 3 sowie die Ultraschalllinse 4 sind mechanisch mit einer
35 Sendeverschiebeeinheit 8 verbunden, mit der ein emittierter

Ultraschallstrahl 5 an einer Anzahl von Sendepositionen auf der Einkoppeloberfläche 6 positionierbar ist.

Das Ultraschallmikroskop gemäß Fig. 1 verfügt über eine Zentraleinheit 9, mit der über eine Sendepositionierleitung 10 die Senderverschiebeeinheit 8 zum definierten Positionieren des Ultraschallstrahles 5 ansteuerbar ist. Der Zentraleinheit 9 sind als Meßdaten über eine Sendeamplitudenleitung 11 der Amplitude des Ultraschallstrahles 5 entsprechende Ultraschallamplitudenwerte einspeisbar.

Weiterhin weist das Ultraschallmikroskop gemäß Fig. 1 ein vorzugsweise im Nahfeld, das heißt im wesentlichen aperturbegrenzt arbeitendes Empfangskraftmikroskop 12 eines Ultraschalldetektors 13 auf. Das Empfangskraftmikroskop 12 verfügt über eine Empfangsspitze 14, die bei einer Ortsauflösung von vorzugsweise höchstens im Bereich von typischerweise einigen 10 Nanometern, besonders bevorzugt mit atomarer Auflösung in einem Abstand von einer der Einkoppeloberfläche 6 des Probenkörpers 7 gegenüberliegenden Detektionsoberfläche 15, wobei bei diesem Abstand die Größe der Wellenlänge der eingekoppelten Ultraschallwellen für die Intensitätsverteilung an der Detektionsoberfläche 15 noch keine maßgebliche Rolle spielt, vorzugsweise im Nahfeld der sich von dem punktuellen Einkoppelbereich ausbreitenden Ultraschallwellen positionierbar ist. Die Empfangsspitze 14 ist an einem Ende einer beispielsweise als Blattfeder ausgestalteten Empfangsfeder 16 befestigt, deren anderes Ende an einer Empfangsfederaufhängung 17 angebracht ist. Die Empfangsfederaufhängung 17 ist mechanisch mit einer Empfangsverschiebeeinheit 18 verbunden, mit der die Empfangsspitze 14 bei jeder Sendeposition an mehreren Empfangspositionen über der Detektionsoberfläche 15 positionierbar ist.

Weiterhin verfügt der Ultraschalldetektor 13 gemäß Fig. 1 über eine beispielsweise als Laser ausgebildete Abtastlichtquelle 19,

deren emittierte Abtaststrahlung 20 über eine Abtastfokussieroptik 21 auf eine wenigstens teilweise reflektive Abtastseite 22 der Empfangsspitze 14 oder der Empfangsfeder 16 fokussierbar ist. Der von der Abtastseite 22 rückgeworfene Teil
5 der Abtaststrahlung 20 ist mit einer Abtastablenkeinheit 23 einer optischen Detektionseinheit 24 zuführbar. Die optische Detektionseinheit 24 verfügt über einen Strahlteiler 25, mit dem der der optischen Detektionseinheit 24 beaufschlagende Teil der Abtaststrahlung 20 einem Segmentdetektor 26 und über eine Umlenkeinheit 27 sowie eine fokussierende Detektionsoptik 28 unter
10 Passieren eines im Fokalbereich der Detektionsoptik 28 angeordneten Teilabschattungselementes 29 einem Abschattungsdetektor 30 zuführbar ist.

15 Der aus zwei aneinandergrenzenden Detektionsflächen aufgebaute Segmentdetektor 26 weist eine verhältnismäßig geringe Bandbreite auf, die kleiner als die Frequenz der in den Probenkörper 7 eingekoppelten Ultraschallwellen ist. Die jeweils einer Detektionsfläche zugeordneten Ausgänge des Segmentdetektors 26 sind an
20 einen Normierverstärker 31 angeschlossen, der die Differenz zwischen den Photospannungen der Detektionsflächen des Segmentdetektors 26 auf deren Summenwert normiert und verstärkt. Mit dem Segmentdetektor 26 sind somit gegenüber ultraschallinduzierten hochfrequenten Auslenkungen der Empfangsspitze 14
25 langsamere, insbesondere durch die Topographie der Detektionsoberfläche 15 bedingte niederfrequente Ablenkungen der Empfangsspitze 14 detektierbar.

Der mit einer einzigen Detektionsfläche ausgestattete Abschattungsdetektor 30 weist eine Bandbreite auf, die wenigstens der
30 Frequenz der in den Probenkörper 7 eingekoppelten Ultraschallwellen 5 entspricht. Mit dem Abschattungsdetektor 30 sind die ultraschallinduzierten hochfrequenten Auslenkungen der Empfangsspitze 14 detektierbar, die sich in einer durch das Teilabschattungselement 29 induzierten, alternierenden, den Ab-
35

schattungsdetektor 30 beaufschlagenden Teilintensität der Abtaststrahlung 20 niederschlagen.

Die Ausgangssignale des Normierverstärkers 31 sind über eine
5 Niederfrequenzsignalleitung 32 und die Ausgangssignale des Abschattungsdetektors 30 sind über eine Hochfrequenzsignalleitung 33 der Zentraleinheit 9 einspeisbar. Weiterhin ist mit der Zentraleinheit 9 über eine Ansteuerleitung 34 die Empfangsverschiebeeinheit 18 ansteuerbar, wobei der Empfangsposition der
10 Empfangsspitze 14 zugeordnete Empfangspositionssignale über eine Empfangspositionsleitung 35 von der Empfangsverschiebeeinheit 18 auf die Zentraleinheit 9 übermittelbar sind.

Mit dem Ultraschallmikroskop gemäß Fig. 1 sind vorzugsweise bei
15 ruhendem Probenkörper 7 der Ultraschallstrahl 5 sowie die Empfangsspitze 14 relativ zueinander positionierbar. Bei einem bevorzugten Meßverfahren wird an jeder Position des Ultraschallstrahles 5 die Empfangsspitze 14 wenigstens über den Bereich der Detektionsoberfläche 15 positioniert, in dem eine ultraschallinduzierte
20 hochfrequente Auslenkung der Empfangsspitze 14 detektierbar ist. Mit der Zentraleinheit 9 sind als Meßdaten die der eingekoppelten Ultraschallamplitude entsprechenden Ausgangssignale des Hochfrequenzgenerators 2 sowie die den Amplituden der Ablenkungen und den hochfrequenten Auslenkungen entsprechenden Inten-
25 sitätssignale des Abschattungsdetektors 30 und des Normierverstärkers 31 in Abhängigkeit jeder Sendeposition des Ultraschallstrahles 5 sowie den dieser Sendeposition zugeordneten Empfangspositionen der Empfangsspitze 14 abspeicherbar.

30 Fig. 2 zeigt in einem Blockschaltbild ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Ultraschallmikroskops, das in Abwandlung gegenüber dem beispielhaften Ultraschallmikroskop gemäß Fig. 1 zur Einkopplung von Ultraschallwellen in den Probenkörper 7 über ein
eine Sendespitze 36 aufweisendes Sendekraftmikroskop 37 mit
35 hohem örtlichen Auflösungsvermögen von typischerweise einigen

10 Nanometern verfügt. Die Sendespitze 36 ist an einem Ende einer als Blattfeder ausgestalteten Sendefeder 38 angebracht, deren anderes Ende an einer Sendefederaufhängung 39 befestigt ist. Die Sendefederaufhängung 39 ist mechanisch mit einer Sen-
5 deverschiebeeinheit 40 verbunden, mit der die Sendespitze 36 über der Einkoppeloberfläche 6 des Probenkörpers 7 positionierbar ist. An der Sendespitze 36 ist ein vorzugsweise piezoelektrisch ausgeführter Ultraschallwandler 41 angebracht, der an den Hoch-
10 frequenzgenerator 2 des Ultraschallsenders 1 angeschlossen ist. Bei Beaufschlagen des Ultraschallwandlers 41 mit einer mit dem Hochfrequenzgenerator 2 erzeugbaren Hochfrequenz sind über die Sendespitze 36 im Verhältnis zu den Abmessungen des Proben-
körpers 7 punktuell Ultraschallwellen in den Probenkörper 7 einkoppelbar.

15 Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Ultraschallmikroskops, bei dem in Abwandlung zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 ein Ultraschallwandler 42 mit der Sendefederaufhängung 39 gekoppelt ist. Bei Beaufschlagen der Sendefeder-
20 aufhängung 39 mit durch den an den Ultraschallwandler 42 angeschlossenen Hochfrequenzgenerator 2 und den Ultraschallwandler 42 erzeugten Ultraschallwellen wird die Sendefeder 38 in hochfrequente Schwingung versetzt, so daß die Sendespitze 36 in den Probenkörper 7 punktuell Ultraschallwellen induziert.

25 Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Ultraschallmikroskops, wobei sich in den Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 1 bis Fig. 3 entsprechende Bauelemente mit den gleichen Bezugs-
zeichen versehen und im weiteren nicht näher erläutert sind. Der
30 Ultraschallsender 1 bei dem Ultraschallmikroskop gemäß Fig. 4 verfügt über eine bevorzugt als Laser ausgebildete Anregungslicht-
quelle 43, mit der durch eine Energieversorgungseinheit 44 ange-
steuert ein in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 im wesentlichen paralleler Anregungslichtstrahl 45 emittierbar ist. Der Anre-
35 gungslichtquelle 43 ist ein Anregungslichtmodulator 46 nach-

geordnet, mit dem die Intensität eines ihn beaufschlagenden Anregungslichtstrahles 45 von einer Modulatoransteuereinheit 47 gesteuert hochfrequent modulierbar ist.

- 5 Weiterhin verfügt der Ultraschallsender 1 gemäß Fig. 4 über eine Anregungslichtumlenkoptik 48 und eine beugungsbegrenzt arbeitende Anregungslichtfokussieroptik 49, mit der das intensitätsmodulierte Anregungslicht 45 auf die Einkoppeloberfläche 6 des Probenkörpers 7 fokussierbar ist, wobei auf der Grundlage des
10 thermoelastischen Effektes in einem gegenüber den Abmessungen des Probenkörpers 7 sehr kleinen Bereich punktuell Ultraschallwellen erzeugbar sind.

Die Anregungslichtumlenkoptik 48 und die Anregungslichtfokussieroptik 49 sind mechanisch mit einer Sendeverschiebeeinheit 50 verbunden, mit der der Fokalebereich des Anregungslichtstrahles 45 über die Einkoppeloberfläche 6 des Probenkörpers 7 führbar ist. Die Sendeverschiebeeinheit 50 ist zur Steuerung an die Zentraleinheit 9 angeschlossen.

- 20 Fig. 5 zeigt in einem Blockschaltbild ein Ausführungsbeispiel der Zentraleinheit 9 gemäß den anhand Fig. 1 bis Fig. 4 erläuterten beispielhaften Ultraschallmikroskops. Die Zentraleinheit 9 verfügt über einen Taktgeber 51, an den ein Sendepositionsansteuerglied
25 52 angeschlossen ist. Mit dem Sendepositionsansteuerglied 52 ist durch Beaufschlagen mit entsprechenden Steuersignalen über die Sendepositionierleitung 10 auf die jeweilige Sendeverschiebeeinheit 8, 40, 50 der Ultraschallstrahl 5, die Sendespitze 36 beziehungsweise der Fokalebereich des Anregungslichtstrahles 45 an
30 mehreren Sendepositionen bezüglich der Einkoppeloberfläche 6 definiert positionierbar. Weiterhin steht der Taktgeber 51 über die Ansteuerleitung 34 mit der Empfangsverschiebeeinheit 18 in Verbindung, wobei an jeder Sendeposition des Ultraschallstrahles 5, der Sendespitze 36 beziehungsweise des fokussierten Anregungslichtstrahles 45 die Empfangsspitze 14 an mehreren Empfangs-

positionen zum Detektieren der ultraschallinduzierten hochfrequenten Auslenkungen und der topographisch bedingten niederfrequenten Ablenkungen an der der Einkoppeloberfläche 6 gegenüberliegenden Detektionsoberfläche 15 positioniert wird.

- 5
- Der Position des Ultraschallstrahles 5, der Sendespitze 36 beziehungsweise des Fokalbereiches des fokussierten Anregungslichtstrahles 45 zugeordnete Sendepositionssignale aus der Sendepositionieransteuereinheit 52 sowie der Empfangsposition der Empfangsspitze 14 zugeordnete Detektionspositionssignale aus der
- 10 Empfangsverschiebeeinheit 18 sind einem Datenspeicher 53 zusammen mit den Amplituden der eingekoppelten Ultraschallwellen zugeordneten Amplitudensignalen in der Sendeamplitudenleitung 11 sowie den Intensitätssignalen in der Niederfrequenzleitung 32
- 15 und der Hochfrequenzleitung 33 einspeisbar. Weiterhin ist dem Datenspeicher 53 ein Referenzortsignal aus einem Referenzortgeber 54 einspeisbar, das als Bezugssignal zur Umrechnung in absolute Ortskoordinaten dient.
- 20 Nach Abschluß eines Meßzyklus mit der Relativpositionierung der Empfangsspitze 14 in bezug auf die die Ultraschallwellen erzeugende Ultraschalllinse 4, die Sendespitze 36 beziehungsweise die den Anregungslichtstrahl 45 fokussierende Anregungslichtfokussieroptik 49 sind mit einer dem Datenspeicher 53 nachgeordneten
- 25 Rekonstruktionseinheit 55 die Meßdaten auf der Grundlage bildgebender tomografischer Algorithmen zu einem orts aufgelösten Intensitätsbild wenigstens einer innenliegenden Schicht des Probenkörpers 7 verknüpfbar.
- 30 Dabei ist mit dem jeweiligen tomografischen Algorithmus der Sachverhalt ausnutzbar, daß mit der im Nahfeld arbeitenden Empfangsspitze 14 im wesentlichen an jeder Relativposition die Dämpfung der an der Einkoppeloberfläche 6 in den Probenkörper 7 eingekoppelten Ultraschallwellen erfaßbar sind und bei Versetzen
- 35 des Ultraschallstrahles 5, der Sendespitze 36 beziehungsweise

des Fokalbereiches des Anregungslichtstrahles 45 sowie repetitiver Positionierung der Sendespitze 14 an jeder dieser Sendepositionen durch entsprechende Verknüpfung der in den Datenspeicher 53 abgespeicherten Orts- und Intensitätsdaten wenigstens
5 eine vorbestimmte Schicht mit einer dem durch die Größe des punktuellen Einkoppelbereiches und das örtliche Auflösungsvermögen des Ultraschalldetektors 13 bestimmten Gesamtauflösungsvermögen entsprechenden Schärfe rekonstruierbar ist. Bei
10 Rekonstruktion einer großen Anzahl von Schichten bis maximal einer dem gesamten Auflösungsvermögen entsprechenden Genauigkeit ist auch ein dreidimensionales Bild der inneren Struktur des Probenkörpers 7 rekonstruierbar.

Bei dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die
15 mittels der Rekonstruktionseinheit 55 aufgearbeiteten Daten in einer Ausgabeeinheit 56 als Schichtbilder oder dreidimensionale Darstellungen ausgebbar.

PATENTANSPRÜCHE

1. 5 Ultraschallmikroskop mit einem Ultraschallsender (1), mit dem in einem Probenkörper (7) Ultraschallwellen einkoppelbar sind, mit einem auf der dem Ultraschallsender (1) gegenüberliegenden Seite des Probenkörpers (7) angeordneten Ultraschalldetektor (13), mit dem die in den Probenkörper (7) eingekoppelten Ultraschallwellen detektierbar sind und der relativ zu dem Probenkörper (7) positionierbar ist, und mit einer Zentraleinheit (9), mit der bei einer Abfolge von Stellungen des Ultraschalldetektors (13) relativ zu dem Probenkörper (7) den Amplituden der eingekoppelten Ultraschallwellen sowie den Amplituden der mit dem Ultraschalldetektor (13) erfaßten Ultraschallwellen zugeordnete Meßdaten speicherbar und verarbeitbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ultraschallwellen mit dem Ultraschallsender (1) im Verhältnis zu Abmessungen des Probenkörpers (7) punktuell in den Probenkörper (7) einkoppelbar sind, daß der Ultraschallsender (1) und der Ultraschalldetektor (13) unabhängig voneinander am Probenkörper (7) positionierbar sind und daß eine Rekonstruktionseinheit (55) vorgesehen ist, mit der aus den an mehreren Sendepositionen von dem Ultraschallsender (1) ausgesendeten und an mehreren Empfangspositionen in bezug auf jede Sendeposition von dem Ultraschalldetektor (13) erfaßten Ultraschallamplituden wenigstens ein Bild innenliegender Bereiche des Probenkörpers (7) erzeugbar ist.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
2. Ultraschallmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschalldetektor (13) ein Tunnelmikroskop mit atomarem Auflösungsvermögen aufweist.

3. Ultraschallmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschalldetektor (13) ein atomares Kraftmikroskop (12) mit atomarem Auflösungsvermögen aufweist.
5
4. Ultraschallmikroskop nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Detektion der Auslenkungen einer Empfangsspitze (14) des Kraftmikroskopes (12) eine optische Detektionseinheit (19, 21, 26, 28, 29, 30) vorgesehen ist.
10
5. Ultraschallmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallsender (1) einen Ultraschallwandler (3) mit nachgeordneter fokussierender Ultraschalllinse (14) aufweist.
15
6. Ultraschallmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallsender (1) ein mit einem Ultraschallwandler (41, 42) gekoppeltes Kraftmikroskop (37) aufweist.
20
7. Ultraschallmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallsender (1) eine Lichtquelle (43), einen Modulator (46) sowie eine Fokussieroptik (49) aufweist, mit denen ein intensitätsmodulierter Lichtstrahl (45) auf den Probenkörper (7) fokussierbar ist.
25
8. Ultraschallmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Rekonstruktionseinheit (55) das oder jedes Bild mit einem tomographischen Algorithmus rekonstruierbar ist, mittels dem die in einem Datenspeicher (43) der Zentraleinheit (9) abgespeicherten Daten so miteinander verknüpfbar sind,
30

daß in einer Schicht liegende Bildpunkte scharf rekonstruierbar sind.

- 5 9. Ultraschallmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Probenkörperverschiebevorrichtung vorgesehen ist, mit der ein Probenkörper (7) relativ zu dem Ultraschallsender (1) verschiebbar ist.

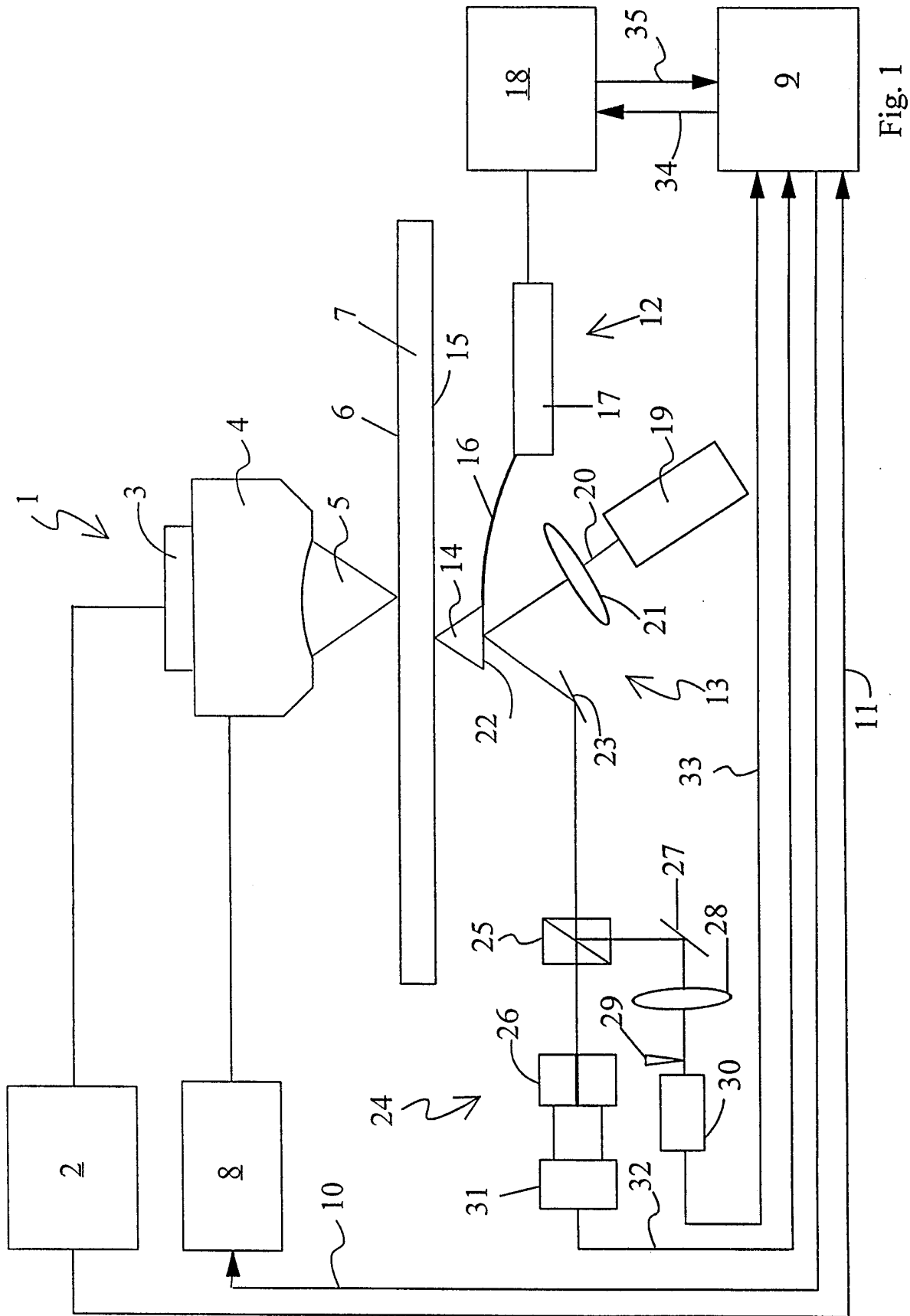


Fig. 1

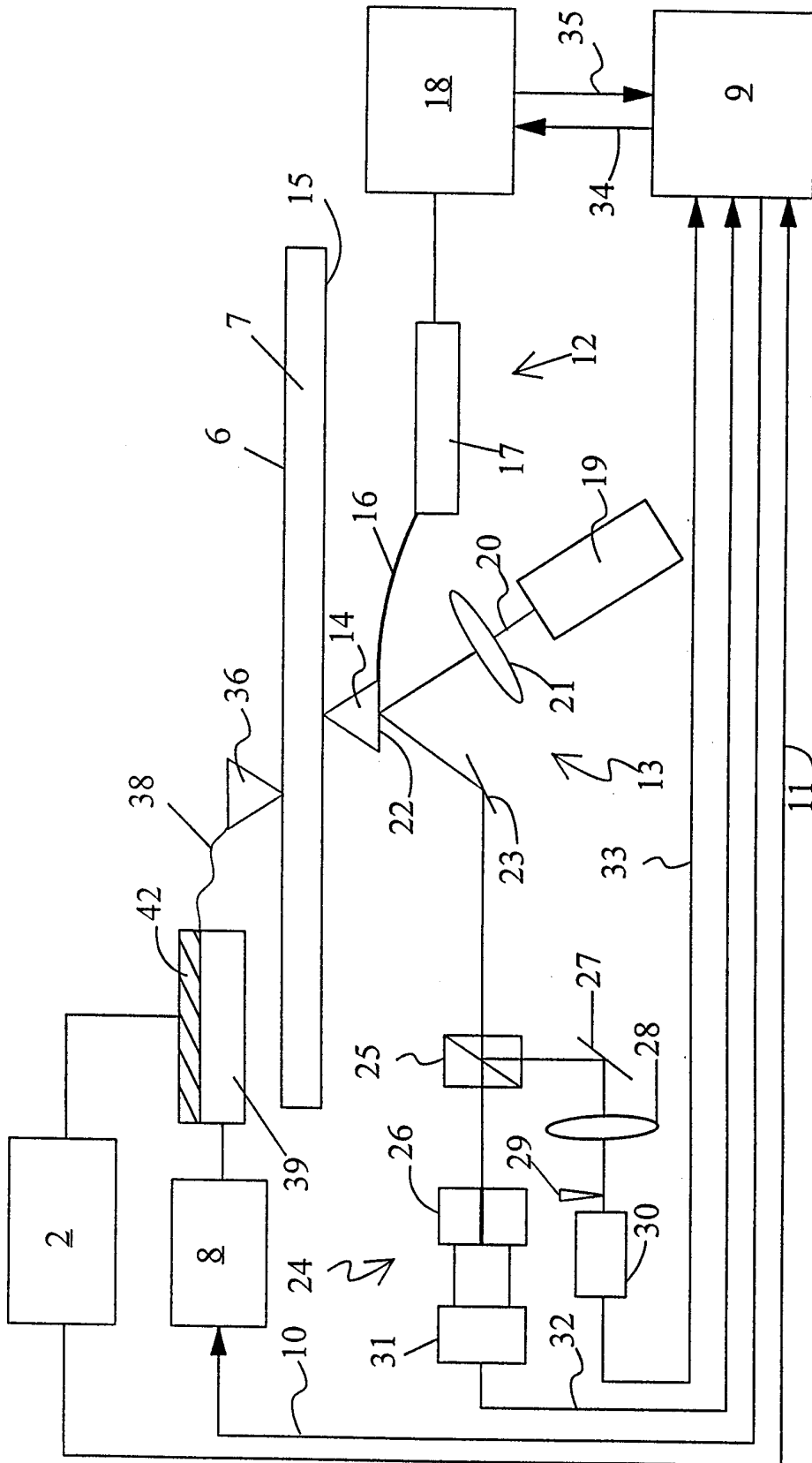
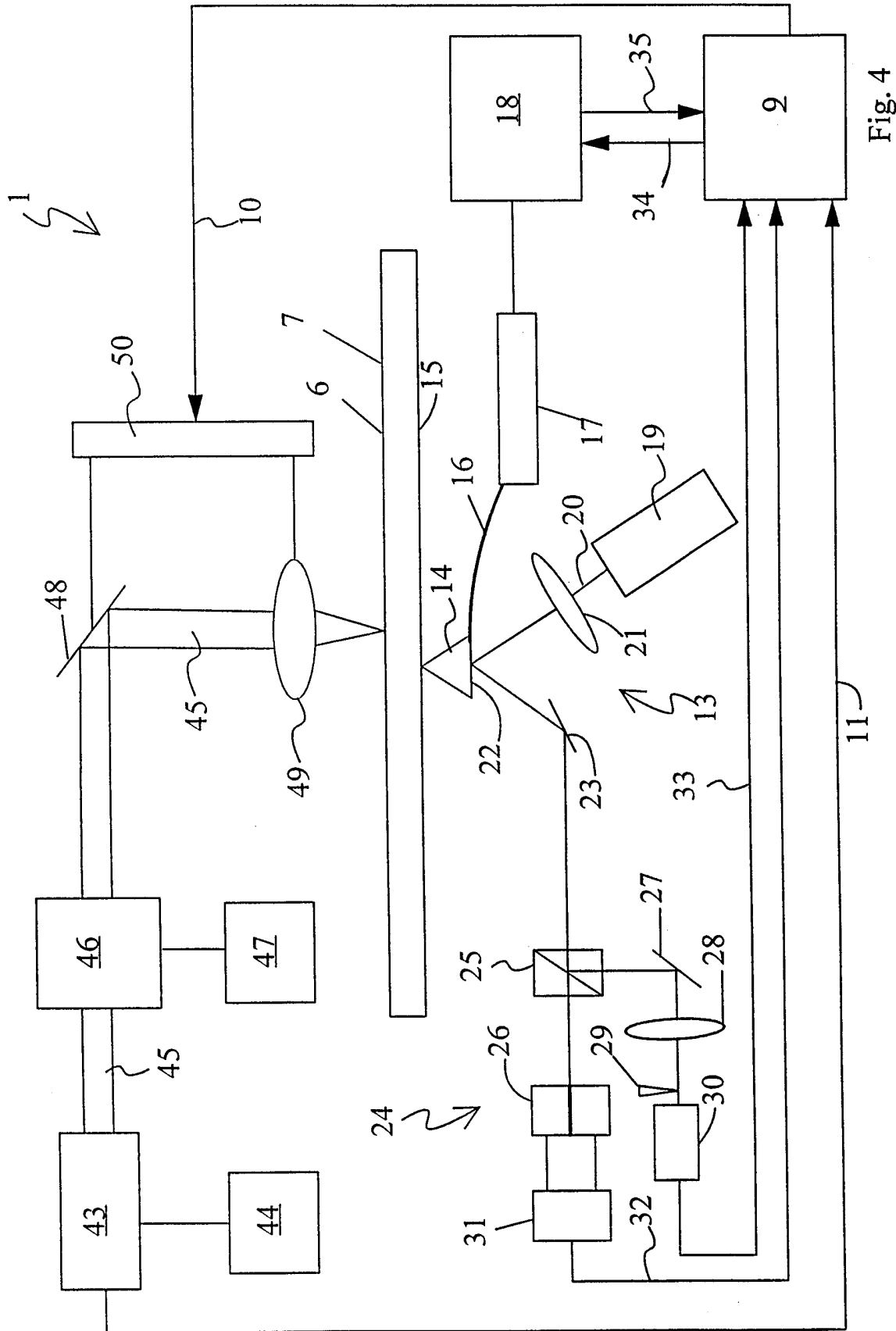


Fig. 3



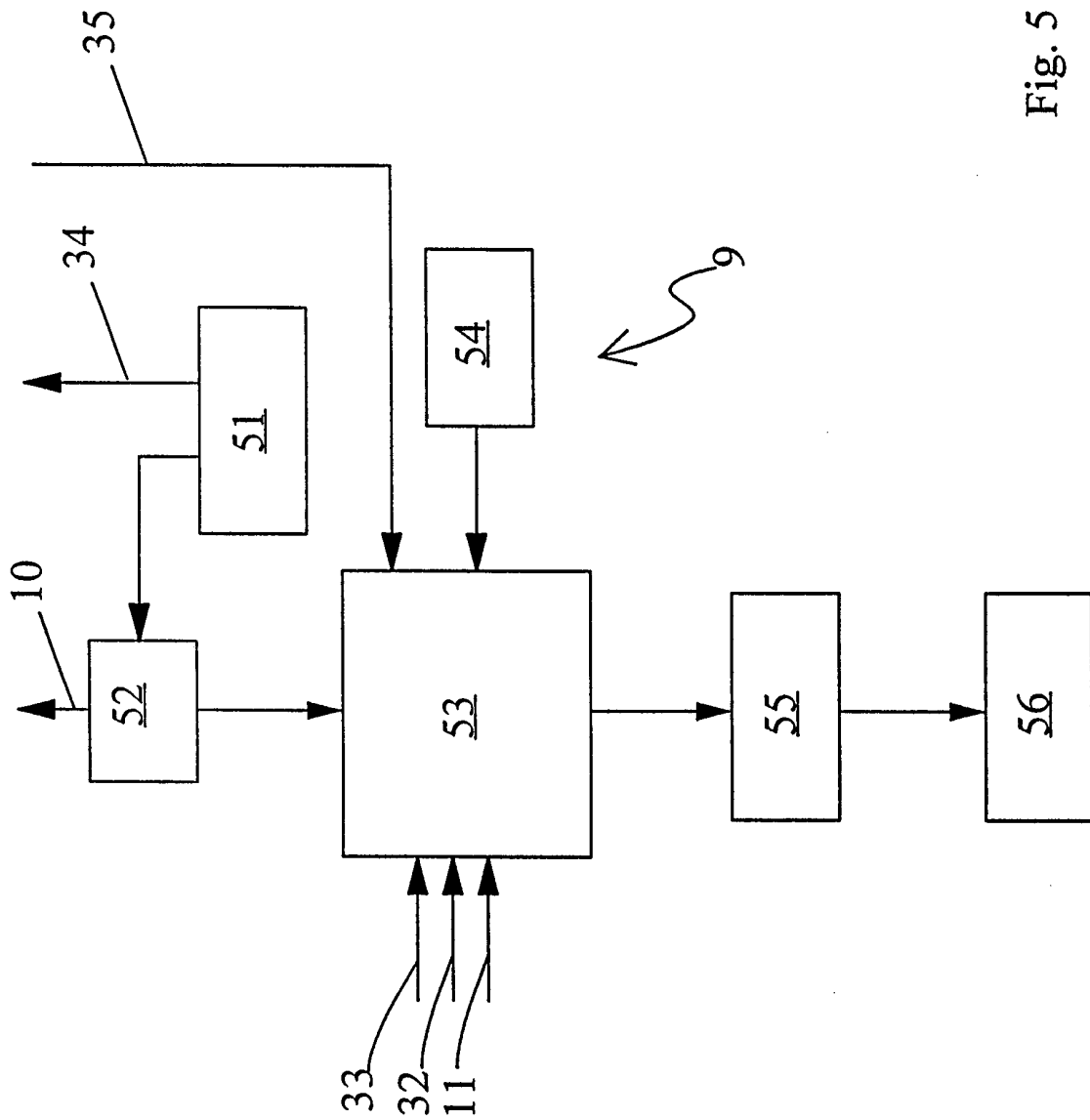


Fig. 5