



(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ :	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/28640 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 2. Juli 1998 (02.07.98)
G02B		
(21) Internationales Aktenzeichen:	PCT/DE97/03014	(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum:	23. Dezember 1997 (23.12.97)	
(30) Prioritätsdaten:	196 54 210.3 24. Dezember 1996 (24.12.96) DE	Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):	LEICA LASERTECHNIK GMBH [DE/DE]; Im Neuenheimer Feld 518, D-69120 Heidelberg (DE).	
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):	ENGELHARDT, Johann [DE/DE]; Schießmauerweg 6, D-76669 Bad Schönborn (DE). ULRICH, Heinrich [DE/DE]; Langgewann 2, D-69121 Heidelberg (DE).	

(54) Title: OPTICAL DEVICE FOR SCANNING A BEAM IN TWO AXES THAT ARE SUBSTANTIALLY PERPENDICULAR TO EACH OTHER

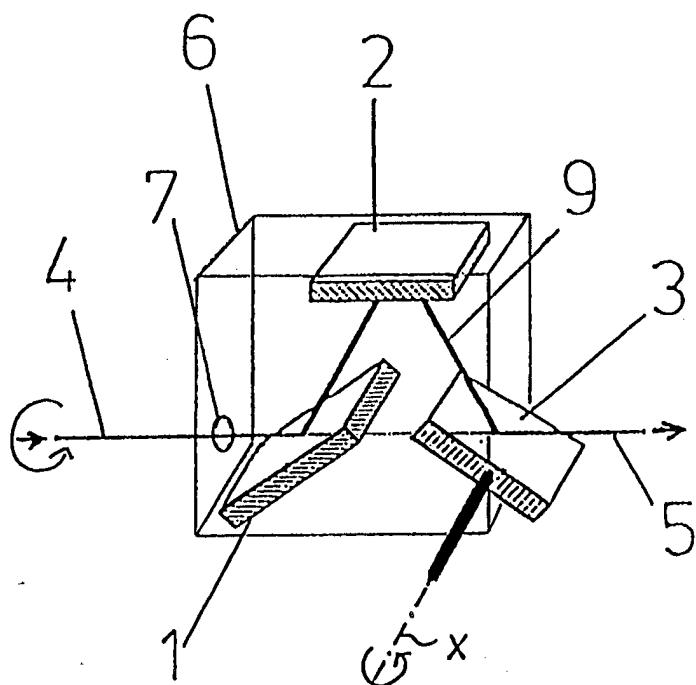
(54) Bezeichnung: OPTISCHE ANORDNUNG ZUM SCANNEN EINES STRAHL IN ZWEI IM WESENTLICHEN SENKRECHT ZUEINANDER LIEGENDEN ACHSEN

(57) Abstract

The invention relates to an optical device for scanning a beam in two axes that are substantially perpendicular to each other, for use in particular in confocal laser scan microscopes, and aims to avoid serious image defects. The invention is characterized in that it has three mirrors (1, 2; 3) of which two mirrors (1, 2) can be rotated by means of a first drive element around a first axis (y-axis) and a mirror (3) can be rotated by means of a second drive element around a second axis (x-axis) which is perpendicular to the first axis (y-axis). The two mirrors (1, 2) are fixedly positioned at an angle to each other so that they rotate together around the y-axis and in so doing rotate the beam (4) around a pivot point located on the axis of rotation (x-axis) of the third mirror (3) which rotates by itself.

(57) Zusammenfassung

Eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, insbesondere zur Anwendung bei konfokalen Laserscanmikroskopen, ist zur Vermeidung gravierender Abbildungsfehler dadurch gekennzeichnet, daß drei Spiegel (1, 2; 3) vorgesehen sind, von denen zwei Spiegel (1, 2) mittels eines ersten Antriebs um eine erste Achse (y-Achse) und ein Spiegel (3) mittels eines zweiten Antriebs um eine zweite Achse (x-Achse), die auf der ersten Achse (y-Achse) senkrecht steht, drehbar ist. Die beiden Spiegel (1, 2) sind einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet, so daß sie gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl (4) um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse (x-Achse) des alleine drehenden dritten Spiegels (3) liegt.



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	Aserbaidschan	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		

"Optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen"

Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, insbesondere zur 5 Anwendung bei konfokalen Laserscanmikroskopen, mit zwei mittels jeweils eines Antriebs um senkrecht zueinander liegende Achsen (x- Achse und y-Achse) drehbaren Spiegeln.

Grundsätzlich handelt es sich hier um eine Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrechten Achsen, wobei es hier darauf 10 ankommt, den Lichtstrahl in beiden Achsen um die Pupille des Objektivs oder einer dazu konjugierten Ebene zu drehen.

Aus der Praxis sind bereits unterschiedlichste Ausführungsformen eines x-y-Scanners bekannt. Aus dem Paper von J. Montagu: "Two-axis beam steering system, TABS", Proceedings Reprint, SPIE - The International Society for Optical 15 Engineering, Vol. 1920, 1993, Seiten 162-173 (reprinted from Smart Structures and Materials 1993: "Active and Adaptive Optical Components and Systems II", 1-4 February 1993, Albuquerque, New Mexico), sind unterschiedliche Scanner bekannt.

Bei dem Einspiegel-Scanner ist ein einziger, um eine Achse drehender Spiegel 20 vorgesehen, wobei die Drehachse des Spiegels nicht der optischen Achse entspricht. Einspiegel-Scanner umfassen in der Regel einen kardanisch aufgehängten Spiegel zum Scannen sowohl in x- als auch in y-Richtung.

Aufgrund des hier lediglich singulären Spiegels werden zwar Lichtverluste durch mehrere Spiegel minimiert, dafür muß jedoch das x-Galvanometer stets mitbewegt werden, d.h. dessen Masse muß beschleunigt und abgebremst werden. Dies limitiert die Bildrate auf ca. zehn Bilder pro Sekunde, und zwar

5 wegen der ansonsten zu großen Schwingungseinträge in das Mikroskopsystem. Außerdem kann ein resonanter Scanner wegen des dafür notwendigen stehenden Einbaus nicht verwendet werden.

Beim Zweispiegel-Scanner sind zwei unter einem vorgegebenen Winkel zueinander angeordnete Spiegel vorgesehen, die üblicherweise um orthogonal

10 zueinander angeordnete Drehachsen drehen. Eine solche Anordnung ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Der einfallende Strahl verläuft auf jeden Fall parallel zu der Drehachse des im Strahlengang letzten Spiegels.

Des weiteren sind sog. "Paddle"-Scanner und "Golf-Club"-Scanner als besondere Ausführungsformen des Zweispiegel-Scanners bekannt. Bei diesen

15 Scannern wird die Drehung des Strahls um einen virtuellen Drehpunkt lediglich näherungsweise erreicht, was grundsätzlich zu Abbildungsfehlern führt.

Gemäß A. F. Slomba: "A laser flying spot scanner for use in automated fluorescence antibody instrumentation", Vol. 6, No. 3, May-June 1972, Seiten 230-234, sind ebenfalls Spiegel-Scanner unter dem Gesichtspunkt der

20 Anwendung in der Fluoreszenzmikroskopie sowie in der Konfokalmikroskopie bekannt. Hierauf sei lediglich ergänzend hingewiesen.

Die zuvor erörterten bekannten optischen Anordnungen zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen sind in der Praxis aus den unterschiedlichsten Gründen problematisch. Im Vordergrund

25 stehen hier sicherlich erhebliche Abbildungsfehler sowie die weiterreichende Problematik dahingehend, daß zumindest einer der Antriebe stets mitbewegt

werden muß, was zu einer ganz erheblichen Begrenzung der Bildrate führt. Jedenfalls erreichen die bekannten Zweispiegel-Anordnungen eine Drehung des Strahls um einen virtuellen Drehpunkt nur annäherungsweise, wodurch bei diesen Scannern ganz erhebliche Abbildungsfehler entstehen.

- 5 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen anzugeben, wonach gravierende Abbildungsfehler vermieden sind, wonach eine hohe Bildrate für Real-Time-Anwendungen, d.h. für übliche Videogeschwindigkeit, möglich ist und wonach sich das Bild insbesondere bei 10 der Konfokalmikroskopie leicht einstellen bzw. zentrieren läßt.

Die erfindungsgemäße Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruches 1. Danach ist die eingangs genannte optische Anordnung - Zweispiegel-Scanner - dadurch ergänzt, daß 15 einem der beiden Spiegel ein weiterer Spiegel in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet ist, so daß die einander zugeordneten Spiegel - erster und zweiter Spiegel - gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse (x-Achse) des alleine drehenden dritten Spiegels liegt.

- 20 Erfindungsgemäß werden durch den dritten Spiegel weitere Lichtverluste - aufgrund von unvermeidbaren Spiegelmängeln - in Kauf genommen, wobei die Anordnung der drei Spiegel wie beim kardanisch aufgehängten Scanspiegel bewirkt, daß der Strahldrehpunkt in den beiden Scanrichtungen x und y in einem Punkt zusammenfällt. Wäre dies nicht der Fall, entstünden im Scancvorgang nicht 25 korrigierbare Fehler und Strahlvignettierungen, da dann nämlich kein telezentrischer Strahlengang mehr vorläge. Die hier beanspruchte Anordnung erzeugt eine geringe y-abhängige relative Zeilenverschiebung von:

$$\frac{\Delta x}{y} = \frac{\sin \beta / 2}{\tan \gamma}$$

mit dem y-Scanwinkel β und dem Strahlwinkel α zwischen der Rotationsachse des y-Scanners und dem Strahl, der auf den x-Scanspiegel fällt.

- Die Zeilenverschiebung ist bei einem typischen Scanwinkel von 7° kleiner als 5 2% der Bildbreite und somit für viele Anwendungen vernachlässigbar. Falls notwendig, kann sie jedoch leicht durch einen geeigneten y-abhängigen Offset auf dem x-Antrieb kompensiert werden. Zu beachten ist in besonderen Fällen auch, daß die Polarisation am oberen und unteren Rand des Bildes um wenige Grad gedreht ist. Der Nachteil, daß hier drei Spiegel anstatt ein Spiegel z.B. bei 10 kardanischer Aufhängung verwendet werden, wird bei der Anforderung hoher Scanraten leicht ausgeglichen, und zwar durch die wesentlich kleinere Masse, die hier beschleunigt werden muß. Jedenfalls lassen sich hier auch Antriebe mit einer hohen Frequenz verwenden, da diese bei der erfindungsgemäßigen Anordnung statisch montiert sind.
- 15 In erfindungsgemäßer Weise ist jedenfalls wesentlich, daß eine Minimierung von Abbildungsfehlern auf Kosten von Lichtverlusten stattfindet, die jedoch bei zahlreichen Anwendungen zumindest in gewissem Rahmen von einer untergeordneten Bedeutung sind.

- Hinsichtlich einer konkreten Ausgestaltung der hier beanspruchten optischen 20 Anordnung sind die beiden gemeinsam drehenden Spiegel - erster und zweiter Spiegel - dem alleine drehenden dritten Spiegel im Strahlengang vorgeschaltet bzw. vorgeordnet. Der einfallende Strahl fällt auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel, und zwar in ganz besonders vorteilhafter Weise in deren gemeinsamer Drehachse (y-Achse).

Hinsichtlich einer kompakten Bauweise der optischen Anordnung ist es von Vorteil, wenn die beiden einander zugeordneten Spiegel auf einer drehbaren Aufnahme angeordnet sind, wobei die Winkelposition der beiden Spiegel zueinander und deren Abstand unveränderlich ist. Die gesamte Aufnahme ist um 5 die optische Achse (y-Achse) des einfallenden Strahls drehbar.

Ebenso ist es möglich, die beiden einander zugeordneten Spiegel - statt auf einer einfachen Aufnahme - in einem Gehäuse anzuordnen, wobei insoweit ein Schutz der Spiegel gegeben wäre. Entsprechend der Ausgestaltung der zuvor erörterten Aufnahme würde das Gehäuse um die optische Achse (y-Achse) des 10 einfallenden Strahls drehen.

Das Gehäuse weist des weiteren eine Eintrittsöffnung für den einfallenden Strahl auf, wobei der Strahl in der Drehachse des Gehäuses auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel trifft bzw. fällt und zum zweiten Spiegel reflektiert wird. Der dritte Spiegel könnte außerhalb des Gehäuses drehbar angeordnet 15 sein. Im Rahmen einer ganz besonders vorteilhaften Ausgestaltung weist das Gehäuse jedoch eine Ausnehmung auf und ist das Gehäuse dieser Ausnehmung gegenüber zumindest teilweise offen. Der alleine drehende dritte Spiegel (x-Drehachse) ist vom Gehäuse unabhängig drehbar und dabei innerhalb der Ausnehmung des Gehäuses angeordnet.

20 Entsprechend der Anordnung der ersten beiden innerhalb des Gehäuses starr angeordneten Spiegel wird der Strahl vom zweiten Spiegel zur Ausnehmung des Gehäuses hin reflektiert, wo er auf den dort angeordneten, alleine drehenden dritten Spiegel fällt. Von hier aus wird der Strahl nach außerhalb des Gehäuses oder wieder in das Gehäuse zurück und durch eine besondere Austrittsöffnung 25 aus dem Gehäuse herausgeführt. Gemäß der voranstehend geschilderten Ausführung ist eine kompakte Bauweise innerhalb eines Gehäuses realisiert, wobei der dritte Spiegel im Bereich der Ausnehmung des Gehäuses quasi

innerhalb des Gehäuses frei drehbar angeordnet ist. Letztendlich ist der dritte Spiegel durch das Gehäuse zumindest teilweise abgedeckt bzw. überdeckt und damit zumindest weitgehend geschützt.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform könnte den beiden einander in der 5 vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordneten, gemeinsam um die optische Achse drehenden Spiegeln - erster und zweiter Spiegel - und dem alleine drehenden Spiegel - dritter Spiegel - ein weiteres Spiegelpaar nachgeordnet sein, wobei diesem weiteren Spiegelpaar zwei einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnete Spiegel - vierter und fünfter 10 Spiegel - zugeordnet sind. Letztendlich wäre der vierte und der fünfte Spiegel ähnlich dem ersten und zweiten Spiegel fest einander zugeordnet, und zwar in einer vorgegebenen Winkelposition der jeweiligen Spiegelflächen.

Die beiden weiteren Spiegel könnten auf einer um die optische Achse drehenden Aufnahme montiert sein, wie dies bei den ersten beiden Spiegeln der Fall sein 15 kann. Der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel könnte dabei beweglich mit der zweiten Aufnahme verbunden sein, wobei dieser dritte Spiegel unabhängig von der zweiten Aufnahme um die x-Achse drehen kann, jedoch gemeinsam mit der zweiten Aufnahme um die y-Achse schwenkbar wäre.

Im Rahmen einer besonders bevorzugten Ausgestaltung wäre die erste Auf- 20 nahme auf der zweiten Aufnahme angeordnet und wäre mit dieser um die optische Achse drehbar verbunden, wobei sich die von der zweiten Aufnahme unabhängige Drehbarkeit der ersten Aufnahme ebenfalls auf die y-Achse bzw. optische Achse bezieht.

Wie auch bereits bei der zuvor erörterten Dreispiegelanordnung können im 25 Rahmen einer besonders kompakten Ausgestaltung die beiden einander zugeordneten weiteren Spiegel - vierter und fünfter Spiegel - in einem um die

optische Achse (y-Achse) drehbaren zweiten Gehäuse angeordnet sein, wobei der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel beweglich in dem zweiten Gehäuse angeordnet ist. Das erste Gehäuse könnte wiederum in dem zweiten Gehäuse angeordnet und mit diesem um die optische Achse (y-Achse) drehbar verbunden sein. Die unabhängige Drehbarkeit des ersten Gehäuses bezieht sich jedenfalls ebenfalls auf die optische Achse bzw. y-Achse.

Bereits zuvor wurde mehrfach angedeutet, daß die Aufnahme bzw. das Gehäuse in der optischen Achse (y-Achse) des einfallenden Strahls dreht. Ebenso ist es möglich, daß der ausfallende Strahl in der optischen Achse des einfallenden Strahls liegt. Es wäre jedoch auch denkbar, den ausfallenden Strahl unter einem beliebigen Winkel zur optischen Achse des einfallenden Strahls auszurichten, so beispielsweise den ausfallenden Strahl in etwa orthogonal zum einfallenden Strahl zu führen.

Die Spiegel der zuvor erörterten Anordnung könnten im Rahmen einer besonders einfachen Ausgestaltung planar ausgebildete Spiegelflächen aufweisen. Ebenso wäre es jedoch auch denkbar, die Spiegel mit einer zumindest geringförmig gewölbten Spiegelfläche auszustatten, wobei die Wölbung der Spiegelfläche zur Abbildung bzw. Korrektur von Abbildungsfehlern herangezogen werden kann.

Ein ganz besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist darin zu sehen, daß sich die Antriebe für die Drehbewegung der Spiegel bzw. der Aufnahmen oder der Gehäuse von diesen Bauteilen zumindest in konstruktiver bzw. körperlicher Hinsicht entkoppeln lassen. In vorteilhafter Weise sind nämlich die Antriebe ortsfest angeordnet, müssen demnach in keiner Weise mitbewegt werden. Insoweit lassen sich als Antriebe problemlos Galvanometer - insbesondere auch resonante Galvanometer mit hohen Frequenzen - verwenden, ohne zu große Schwingungseinträge in das Mikroskopssystem

hervorzurufen. Letztendlich lassen sich insoweit große Bildraten erzeugen, die eine Echtzeitverarbeitung ermöglichen.

Im Rahmen der Verwendung von Galvanometern als Antriebe ist es von weiterem Vorteil, wenn die um die y-Achse drehenden Spiegel von einem 5 Galvanometer und der um die x-Achse drehende Spiegel von einem resonanten Galvanometer mit hoher Frequenz drehangetrieben sind. Ebenso ist es jedoch auch denkbar, als Antrieb einen Stepper-Motor bzw. Schrittmotor vorzusehen.

Die Drehbarkeit der Spiegel kann beliebig ausgeführt werden, wobei es hinreichend ist, wenn die Spiegel in einem Bereich bis etwa 60° drehbar sind. 10 Eine weiterreichende Drehbarkeit ist entsprechend der konkret gewählten Anordnung meist nicht erforderlich.

Wie bereits eingangs ausgeführt, treten auch bei der hier vorgeschlagenen Anordnung hyperbolische Verzeichnungen bei der Abbildung auf. In vorteilhafter Weise sind diese hyperbolischen Verzeichnungen in Abhängigkeit von der y- 15 Position korrigierbar. Im Konkreten könnte die hyperbolische Verzeichnung durch einen geeigneten y-abhängigen Offset auf den x-Antrieb kompensiert werden, wobei hier zu beachten ist, daß die Polarisation am oberen und unteren Rand des Bildes um wenige Grad gedreht ist.

Die hyperbolische Verzeichnung könnte auch erst bei der Auswertung des x- 20 Positionssignals berücksichtigt und kompensiert werden. Eine solche Berücksichtigung und Kompensation der hyperbolischen Verzeichnung könnte beispielsweise nach der Bilddigitalisierung erfolgen.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die 25 dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Ansprüche, andererseits auf die nachfol-

gende Erläuterung von Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

- 5 Fig. 1 in einer schematischen Darstellung ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei hier insgesamt drei Spiegel vorgesehen sind;
- 10 Fig. 2 die Anordnung aus Fig. 1, wobei die Spiegel in einem Gehäuse angeordnet sind;
- Fig. 3 die Anordnung aus Fig. 2 in einer den Strahlengang und die Drehbewegung der Spiegel schematisch darstellenden Ansicht;
- 15 Fig. 4 die mit der Vorrichtung aus Fig. 3 realisierbare Abbildung mit Abbildungsfehlern;
- Fig. 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung mit insgesamt fünf Spiegeln, ähnlich der Darstellung aus Fig. 1 und
- Fig. 6 ein weiteres Ausführungsbeispiel, welches der Fig. 1 ähnlich ist.
- 20 Fig. 1 zeigt eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei sich diese Anordnung insbesondere bei konfokalen Laserscanmikroskopen anwenden lässt.

Die Anordnung umfaßt drei Spiegel 1 bis 3, von denen zwei Spiegel 1 und 2 mittels eines ersten Antriebs um eine erste Achse, die y-Achse, und ein Spiegel (3) mittels eines zweiten Antriebs um eine zweite Achse, die x-Achse, die auf der ersten Achse (y-Achse) senkrecht steht, drehbar ist.

- 5 In erfindungsgemäßer Weise ist dem Spiegel 1 ein weiterer Spiegel 2 in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet, so daß die einander zugeordneten Spiegel 1, 2 - erster und zweiter Spiegel - gemeinsam um die y-Achse 5 drehen und dabei den Strahl um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse (x-Achse) des alleine drehenden dritten Spiegels 3 liegt.
- 10 Die beiden gemeinsam drehenden Spiegel 1, 2 - erster und zweiter Spiegel - sind dem alleine drehenden dritten Spiegel 3 im Strahlengang vorgeschaltet, wobei der einfallende Strahl 4 auf den ersten Spiegel 1 der beiden einander zugeordneten Spiegel 1, 2 in deren gemeinsamer Drehachse 5 fällt. Wie aus Fig. 1 ersichtlich, verlaufen die beiden Teilstrahlengänge zwischen den Spiegeln 1 und 2 einerseits und den Spiegeln 2 und 3 - also Strahl 9 - andererseits etwa symmetrisch bezüglich des - gedachten - Einfallslots auf dem Spiegel 2. Wie Fig. 6 zeigt, ist es indes auch möglich, den ortsfest im Gehäuse 6 angebrachten Spiegel 2 derart zu positionieren, daß der Strahl 9 senkrecht zur y-Achse 4 bzw. 5 verläuft.
- 15 Bei dem in den Fig. 1, 2 und 3 gezeigten Ausführungsbeispiel ist angedeutet, daß die beiden einander zugeordneten Spiegel 1, 2 in einem Gehäuse 6 angeordnet sind. Das Gehäuse 6 dreht um die optische Achse 5 (y-Achse) des einfallenden Strahls 4.

Die Fig. 1 und 2 zeigen des weiteren, daß das Gehäuse 6 eine Eintrittsöffnung 7 für den einfallenden Strahl 4 aufweist, wobei der Strahl 4 in der Drehachse 5 des Gehäuses 6 auf den ersten Spiegel 1 der beiden einander zugeordneten Spiegel 1, 2 trifft und vom ersten Spiegel 1 aus zum zweiten Spiegel 2 reflektiert wird.

- 5 Gemäß der Darstellung in Fig. 2 weist das Gehäuse eine Ausnehmung 8 auf und ist das Gehäuse 6 dieser Ausnehmung 8 gegenüber offen. Der alleine drehende dritte Spiegel 3 ist vom Gehäuse 6 unabhängig um die x-Achse drehbar in der Ausnehmung 8 angeordnet.

- Der auf den alleine drehenden Spiegel 3 fallende Strahl 9 wird von dem dritten
10 Spiegel 3 zurück in das Gehäuse 6 und durch eine Austrittsöffnung 10 aus dem Gehäuse 6 heraus zur Abbildung reflektiert.

- Unter Bezugnahme auf Fig. 1 sei noch einmal angemerkt, daß die Spiegel 1 und 2 fest mit dem Gehäuse 6 verbunden sind, und zwar in einer vorgegebenen Winkelposition zueinander. Das Gehäuse 6 selbst ist um die optische Achse 5
15 bzw. y-Achse drehbar. Der dritte Spiegel 3 ist um die x-Achse drehbar, die orthogonal zur optischen Achse 5 ausgebildet ist.

- Eine Drehung des Spiegels 3 um die x-Achse rastert demnach das Bild in x-Richtung ab. Eine Drehung des Gehäuses 6 um die optische Achse 5 rastert das Bild in y-Richtung ab. Eine gleichzeitige Drehung des Gehäuses 6 um die
20 optische Achse 5 und des Spiegels 3 um die x-Achse lässt das Bild rotieren. Dabei entstehende y-abhängige x-Verschiebungen lassen sich durch einen y-abhängigen Offset korrigieren. Polarisationsdrehungen lassen sich durch y-abhängige Drehungen des Scanners korrigieren.

Abbildungsfehler bzw. hyperbolische Verzeichnungen 17 sind in Fig. 4 dargestellt, wie sie sich nämlich bei Anwendung einer Anordnung gemäß der Fig. 1 bis 3 ergeben. Hinsichtlich sonstiger Korrekturmöglichkeiten wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf den allgemeinen Teil der Beschreibung 5 verwiesen.

Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei den beiden einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordneten, gemeinsam um die 10 optische Achse 5 drehenden Spiegeln 1, 2 - erster und zweiter Spiegel - und dem alleine drehenden Spiegel 3 - dritter Spiegel - ein weiteres Spiegelpaar nachgeordnet ist. Dieses weitere Spiegelpaar umfaßt zwei einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnete Spiegel 11, 12, nämlich einen vierten und einen fünften Spiegel.
15 Die beiden weiteren Spiegel 11, 12 sind in eine um die optische Achse 5 (y-Achse) drehbaren zweiten Gehäuse 13 angeordnet, wobei der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel 3 beweglich in dem zweiten Gehäuse 13 angeordnet ist. Fig. 5 zeigt des weiteren andeutungsweise, daß das erste Gehäuse 6 in dem zweiten Gehäuse 13 angeordnet und mit diesem um die 20 optische Achse 5 drehbar verbunden ist. Der ausfallende Strahl 14 liegt in der optischen Achse 5 des einfallenden Strahls 4, wobei ein beliebiger Winkel des ausfallenden Strahls zur optischen Achse je nach Anforderung realisierbar ist.

Unter Bezugnahme auf Fig. 5 sei noch einmal angemerkt, daß die Spiegel 1 und 2 fest mit dem Gehäuse 6 verbunden sind, und zwar unter einer vorgegebenen 25 Winkelstellung zueinander. Die Spiegel 11, 12 sind fest mit dem zweiten Gehäuse 13 verbunden. Der um die x-Achse drehbare dritte Spiegel 3 ist um die x-Achse drehbar mit dem zweiten Gehäuse 13 verbunden. Das erste Gehäuse 1

ist in dem zweiten Gehäuse 13 um die optische Achse 5 beweglich angeordnet, wobei das Gehäuse 6 mit dem Gehäuse 13 verbunden ist. Das zweite Gehäuse 13 ist um die optische Achse 5 drehbar, wobei eine Drehung des Spiegels 3 um die x-Achse senkrecht zur optischen Achse 5 eine Rasterung in x-Richtung 5 vornimmt.

Eine Drehung des ersten Gehäuses 6 um die optische Achse 5 führt zu einer Rasterung in y-Richtung. Eine Drehung des zweiten Gehäuses 13 um die optische Achse 5 rotiert das Bild in der Bildmitte. Eine Verkleinerung des Scanwinkels in x- und y-Richtung zoomt das Bild.

10 Die Spiegelflächen der hier verwendeten Spiegel 1, 2, 11 und 12 sind planar ausgebildet. Hinsichtlich einer gewölbten Ausbildungsmöglichkeit und der damit verbundenen etwaigen Vorteile wird auf den allgemeinen Teil der Beschreibung verwiesen.

Als Antriebe sind hier Galvanometer vorgesehen, wobei es sich bei dem Antrieb 15 um die y-Achse um ein Galvanometer 15 und bei dem Antrieb um die x-Achse um ein resonantes Galvanometer 16 handelt. Andere Antriebe sind ebenfalls einsetzbar.

Abschließend sei ganz besonders hervorgehoben, daß die voranstehend erörterten Ausführungsbeispiele zur Verdeutlichung der beanspruchten Lehre 20 dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

B e z u g s z e i c h e n l i s t e

- 1 erster Spiegel
- 2 zweiter Spiegel
- 3 dritter Spiegel (um x-Achse drehbar)
- 5 4 einfallender Strahl
- 5 Drehachse, optische Achse (y-Achse)
- 6 erstes Gehäuse
- 7 Eintrittsöffnung in das Gehäuse (6)
- 8 Ausnehmung im Gehäuse (6)
- 10 9 Strahl, auf den dritten Spiegel (3) fallend
- 10 Austrittsöffnung des Gehäuses (6)
- 11 vierter Spiegel
- 12 fünfter Spiegel
- 13 zweites Gehäuse
- 15 14 ausfallender Strahl (aus dem Gehäuse (13))
- 15 Galvanometer (y-Achse)
- 16 resonantes Galvanometer (x-Achse)
- 17 hyperbolische Verzeichnung
- x x-Achse
- 20 α Scanwinkel um x-Achse
- β Scanwinkel um y-Achse

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, insbesondere zur Anwendung bei konfokalen Laserscanmikroskopen, **dadurch gekennzeichnet**, daß drei Spiegel (1, 2; 3) vorgesehen sind, von denen zwei Spiegel (1, 2) mittels eines ersten Antriebs um eine erste Achse (y-Achse) und ein Spiegel (3) mittels eines zweiten Antriebs um eine zweite Achse (x-Achse), die auf der ersten Achse (y-Achse) senkrecht steht, drehbar ist, wobei die beiden Spiegel (1, 2) einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet sind, so daß sie gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl (4) um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse (x-Achse) des alleine drehenden dritten Spiegels (3) liegt.
5
10
2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden gemeinsam drehenden Spiegel (1, 2) - erster und zweiter Spiegel - dem alleine drehenden dritten Spiegel (3) im Strahlengang (4, 9) vorgeschaltet sind.
15
3. Anordnung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der einfallende Strahl (4) auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel (1) in deren gemeinsame Drehachse (5) - y-Achse - fällt.
- 20 4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden einander zugeordneten Spiegel (1, 2) auf einer drehbaren Aufnahme angeordnet sind.
5. Anordnung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Aufnahme um die optische Achse (5) - y-Achse - des einfallenden Strahls (4) dreht.

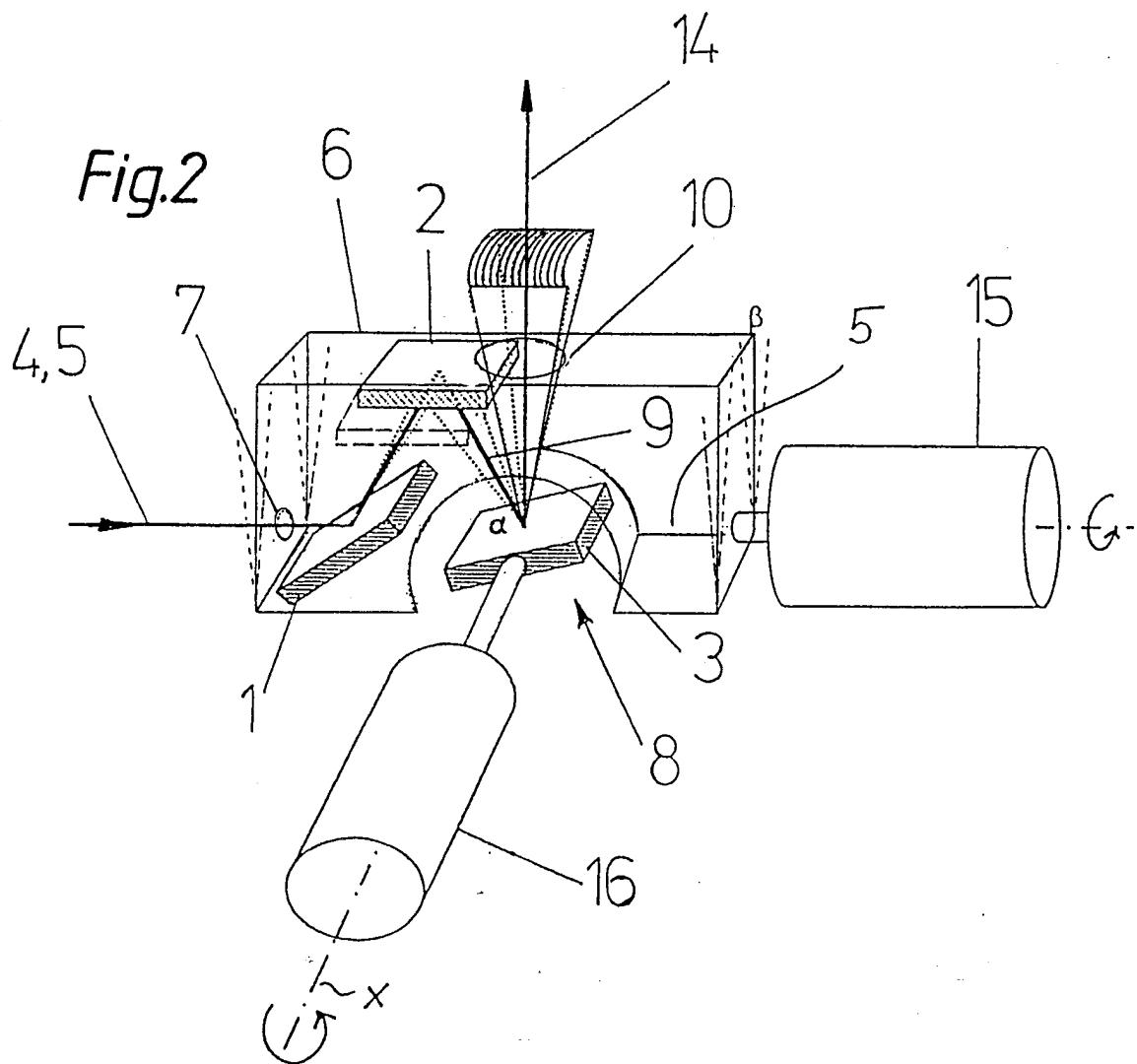
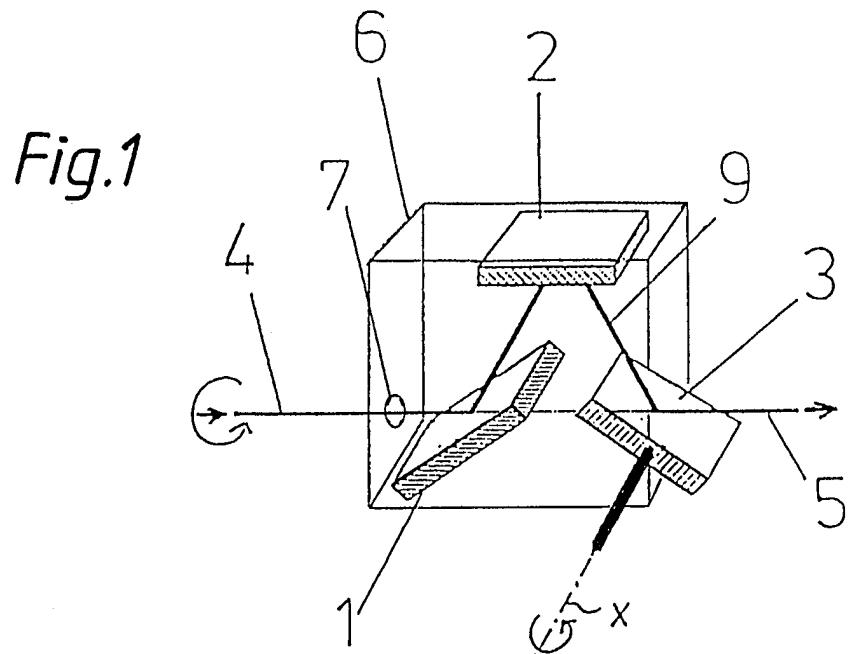
6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden einander zugeordneten Spiegel (1, 2) in einem Gehäuse (6) angeordnet sind.
7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Spiegel (2) in dem Gehäuse (6) derart ortsfest positioniert ist, daß der vom Spiegel (2) ausgehende Strahl (9) senkrecht zur y-Achse (4 bzw. 5) und zur x-Achse hin gerichtet ist.
5
8. Anordnung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gehäuse (6) um die optische Achse (5) - y-Achse - des einfallenden Strahls (4) dreht.
10
9. Anordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gehäuse (6) eine Eintrittsöffnung (7) für den einfallenden Strahl (4) aufweist, wobei der Strahl (4) in der Drehachse des Gehäuses (6) auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel (1) trifft und zum zweiten Spiegel (2) reflektiert wird.
15
10. Anordnung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gehäuse (6) eine Ausnehmung (8) aufweist und dieser gegenüber zumindest teilweise offen ist und daß der alleine drehende dritte Spiegel (3) vom Gehäuse (6) unabhängig drehbar in der Ausnehmung (8) angeordnet ist.
- 20 11. Anordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der auf den alleine drehenden dritten Spiegel (3) fallende Strahl (9) von diesem in das Gehäuse (6) zurück und durch eine Austrittsöffnung (10) aus dem Gehäuse (6) heraus reflektiert wird.

12. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß den beiden einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordneten, gemeinsam um die optische Achse (5) drehenden Spiegeln (1, 2) - erster und zweiter Spiegel - und dem alleine drehenden Spiegel (3) - dritter Spiegel - ein weiteres Spiegelpaar nachgeordnet ist und daß dieses weitere Spiegelpaar zwei einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnete Spiegel (11, 12) - vierter und fünfter Spiegel - umfaßt.
5
13. Anordnung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden weiteren Spiegel (11, 12) auf einer um die optische Achse (5) drehenden Aufnahme montiert sind, wobei der alleine um die x-Achse drehbare Spiegel (3) beweglich mit der zweiten Aufnahme verbunden ist.
10
14. Anordnung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die erste Aufnahme auf der zweiten Aufnahme angeordnet und mit dieser um die optische Achse (5) drehbar verbunden ist.
15. Anordnung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden einander zugeordneten weiteren Spiegel (11, 12) - vierter und fünfter Spiegel - in einem um die optische Achse (5) - y-Achse - drehbaren zweiten Gehäuse (13) angeordnet sind, wobei der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel (3) beweglich in dem zweiten Gehäuse (13) angeordnet ist.
15
16. Anordnung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß das erste Gehäuse (6) in dem zweiten Gehäuse (13) angeordnet und mit diesem um die optische Achse (5) drehbar verbunden ist.
20
17. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß der ausfallende Strahl (14) in der optischen Achse (5) des einfallenden Strahls (4) liegt.
25

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß der ausfallende Strahl (14) unter einem beliebigen Winkel zur optischen Achse (5) des einfallenden Strahls (4) ausgerichtet ist.
 19. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**,
5 daß die Spiegel (1, 2, 3, 11, 12) eine planar ausgebildete Spiegelfläche aufweisen.
 20. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Spiegel (1, 2, 3, 11, 12) eine zumindest geringfügig gewölbte Spiegelfläche aufweisen.
- 10 21. Anordnung nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wölbung der Spiegelfläche zur Abbildung herangezogen wird.
22. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Antriebe ortsfest angeordnet sind.
- 15 23. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Antriebe Galvanometer (15) vorgesehen sind.
24. Anordnung nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß es sich bei den Galvanometern um resonante Galvanometer (16) handelt.
- 20 25. Anordnung nach Anspruch 23 oder 24, **dadurch gekennzeichnet**, daß die um die y-Achse drehenden Spiegel (1, 2, 11, 12) von einem Galvanometer (15) und der um die x-Achse drehende Spiegel (3) von einem resonanten Galvanometer (16) drehangetrieben sind.

26. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Antrieb ein Stepper-Motor vorgesehen ist.
27. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Spiegel (1, 2, 3, 11, 12) unter verschiedenen Winkeln drehbar sind,
5 vorzugsweise im Bereich bis etwa 60°.
28. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, daß Mittel zum Korrigieren einer hyperbolischen Verzeichnung (17) in Abhängigkeit von der y-Position vorgesehen sind.
29. Anordnung nach Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet**, daß die
10 hyperbolische Verzeichnung (17) durch einen geeigneten y-abhängigen Offset auf dem x-Antrieb kompensierbar ist.
30. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 29, **dadurch gekennzeichnet**, daß die hyperbolische Verzeichnung (17) bei der Auswertung des x-Positionssignals berücksichtigt und kompensiert wird.
- 15 31. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 30, **dadurch gekennzeichnet**, daß die hyperbolische Verzeichnung (17) nach der Bilddigitalisierung berücksichtigt und kompensiert wird.

1/3



2/3

Fig.3

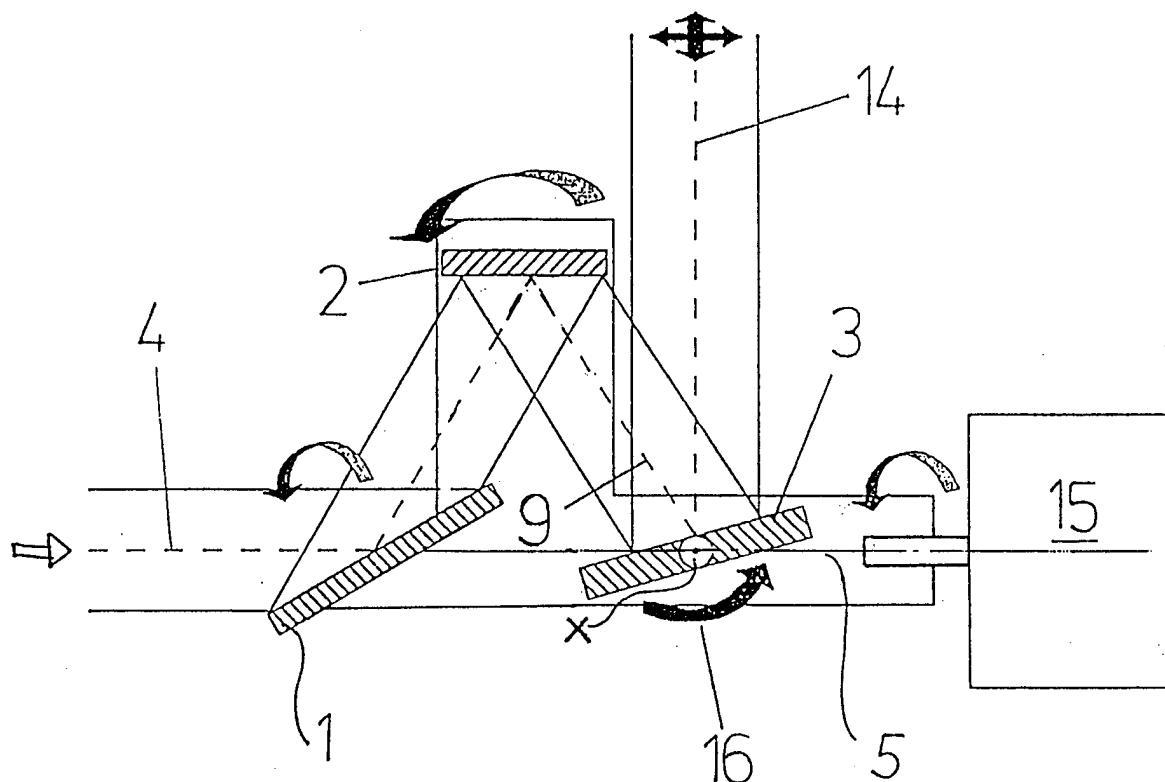
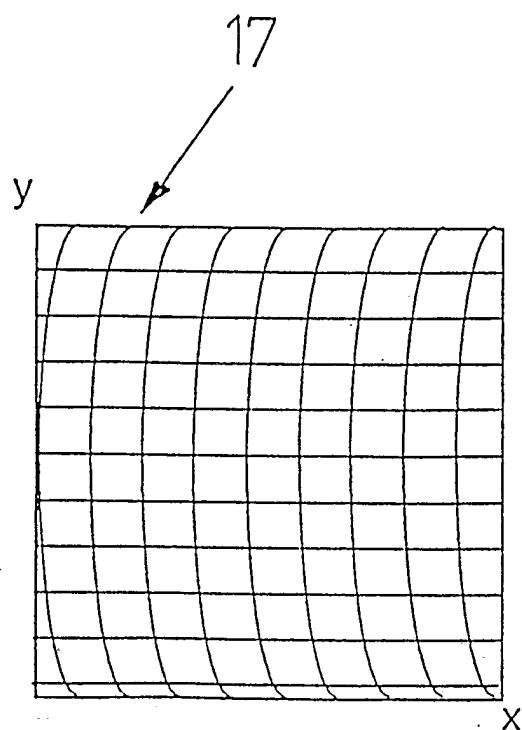


Fig.4



3/3

Fig.5

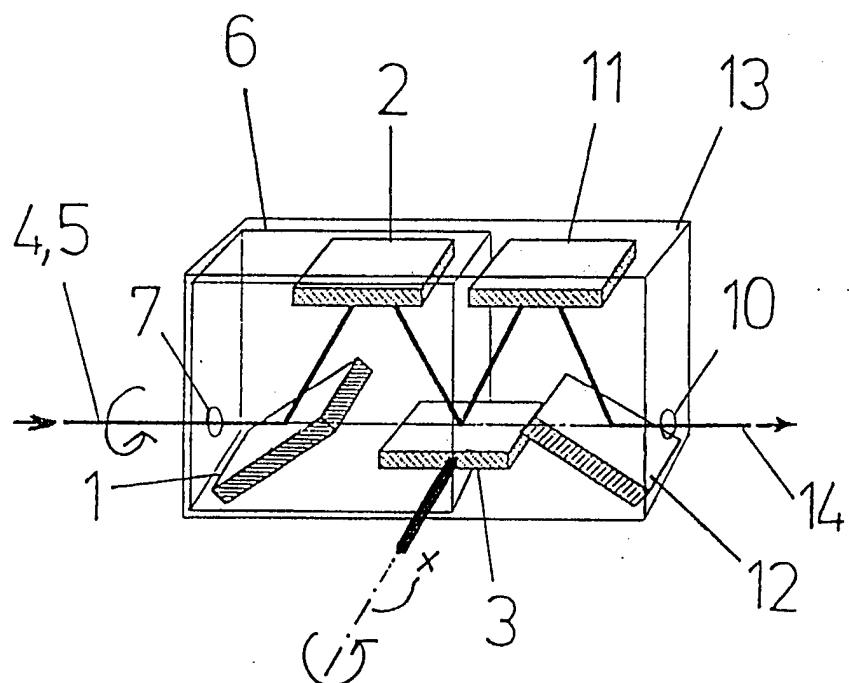


Fig.6

