



(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2006 017 705 B4 2010.01.07

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 017 705.3**

(22) Anmeldetag: 15.04.2006

(43) Offenlegungstag: **18.10.2007**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 07.01.2010

(51) Int Cl.⁸: **G01J 3/18 (2006.01)**
G02B 21/00 (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 Zeiss MicroImaging GmbH, 07745 Jena, DE;
Carl Zeiss AG, 73447 Oberkochen, DE**

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

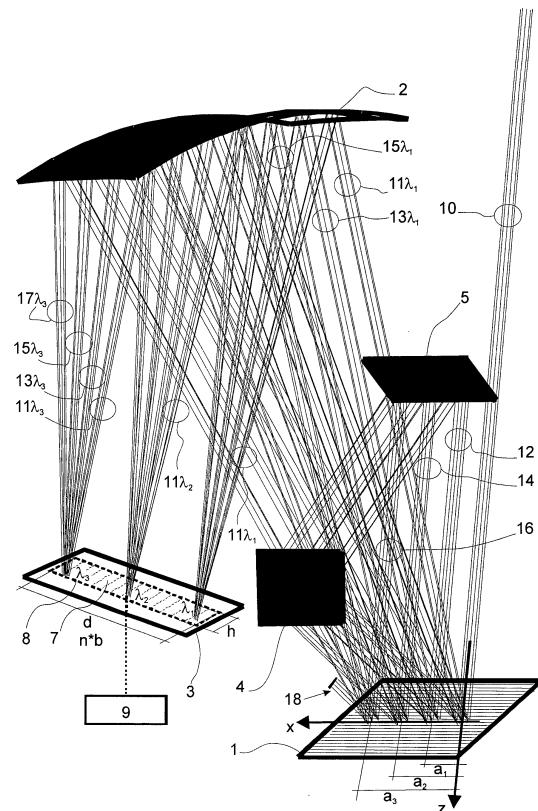
DE 101 21 499 A1

(72) Erfinder:

Dobschal, Hans-Jürgen, 99510 Kleinromstedt, DE;
Wolleschensky, Ralf, 99510 Apolda, DE; Bathe,
Wolfgang, 07743 Jena, DE; Steinert, Jörg, 07743
Jena, DE

(54) Bezeichnung: **Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter und Laserscanning-Mikroskop**

(57) Hauptanspruch: Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter, bei der ein paralleles Lichtbündel (10), welches einen Wellenlängenbereich aufweist, auf ein Beugungsgitter (1) einfällt, welches die unterschiedlichen Wellenlängen durch Beugung in erste Richtungen spektral aufspaltet, wobei diese Lichtbündel als Lichtbündel 1.-Beugungsordnung ohne Umlauf (11) bezeichnet werden, und das Beugungsgitter (1) Lichtbündel in eine zweite Richtung lenkt, wobei dieses Lichtbündel als Lichtbündel 0.-Beugungsordnung ohne Umlauf (12) bezeichnet wird, weiterhin Wellenlängenteilbereiche des spektral aufgespalteten Lichtbündels 1.-Beugungsordnung ohne Umlauf (11) durch eine Optik (2) auf eine Detektorzeile (8) fokussierbar sind und eine Auswertelektronik (9) an die Detektorzeile (8) angeschlossen ist, welche das erzeugte Spektrum als Information gewinnt und darstellt, dadurch gekennzeichnet, daß das Lichtbündel 0.-Beugungsordnung ohne Umlauf (12) auf eine Umlenleinrichtung (Umlenkspiegel 4, 5, 6) trifft, die so ausgerichtet und positioniert ist, daß dieses Lichtbündel auf das Beugungsgitter (1) einfällt und ein Lichtbündel 1.-Beugungsordnung aus dem ersten Umlauf (13) und ein Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus dem ersten Umlauf...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter, bei der ein paralleles Lichtbündel, welches einen Wellenlängenbereich aufweist, auf ein Beugungsgitter einfällt, welches die unterschiedlichen Wellenlängen durch Beugung in erste Richtungen spektral aufspaltet, wobei diese Lichtbündel als Lichtbündel 1.-Beugungsordnung ohne Umlauf bezeichnet werden, und das Beugungsgitter Lichtbündel in eine zweite Richtung lenkt, wobei dieses Lichtbündel als Lichtbündel 0.-Beugungsordnung ohne Umlauf bezeichnet wird, weiterhin Wellenlängenteilbereiche des spektral aufgespalteten Lichtbündels 1.-Beugungsordnung ohne Umlauf durch eine Optik auf eine Detektorzeile (3) fokussierbar sind und eine Auswerteelektronik an die Detektorzeile angeschlossen ist, welche das erzeugte Spektrum als Information gewinnt und darstellt. Die spektrale Einheit findet Anwendung bei allen Spektrometern. Insbesondere kommt die Einheit jedoch in einem konfokalen Laser-Scanning-Mikroskop (LSM), wie dieses in der DE 197 02 753 A1 oder DE 101 51 217 A1 beschrieben ist, als Meßeinrichtung zur spektral aufgespaltenen Detektion der Fluoreszenz zum Einsatz.

[0002] Die spektrale Einheit mit einem Beugungsgitter ist im Prinzip wie ein Polychromator aufgebaut. Das von einer Probe ausgestrahlte breitbandige Licht wird durch ein dispersives Element spektral zerlegt und dann mittels einer Detektionseinheit gemessen und ausgewertet. Als dispersives Element wird dabei vorwiegend ein Beugungsgitter eingesetzt. Prinzipiell unterscheidet man bei dem Beugungsgitter nach ebenen Plangittern mit äquidistanten Linien und einem abbildenden Gitter, welches bevorzugt holografisch hergestellt wird.

[0003] Bei den ebenen Plangittern sind zwischen Lichtquelle und Gitter eine Kollimationsoptik und zwischen Gitter und Spektrum eine Fokussierungsoptik notwendig. Diese Optiken können Linsen oder Spiegel sein. Üblicherweise wird das Spektrum der 1. Beugungsordnung des Beugungsgitters mittels der Fokussierungsoptik auf den Empfänger der Detektionseinheit abgebildet.

[0004] Das Problem dabei ist, dass die Beugungseffizienz des Beugungsgitters in Abhängigkeit von der Wellenlänge, der Gitterkonstanten, dem Gittermaterial und der Profilform sich sehr deutlich ändert, d. h. die Gesamttransmission hat physikalisch bedingt starke Limitierungen.

[0005] Insbesondere treten bei kleinen Gitterkonstanten (g) noch Polarisationseffekte auf, wenn g in der Größenordnung der Wellenlänge oder kleiner ist. Die Polarisationseffekte äußern sich in einer starken intensitätsmäßigen Aufspaltung der TE- und TM-Polarisation, wodurch die Beugungseffizienz zumindest in den Randbereichen des Spektrums stark gemindert wird.

[0006] Bei einem mechanisch hergestellten Blazegitter ist es üblich, den Blazewinkel der Gitterflanken so zu bestimmen, dass bei einer bestimmten gewünschten Wellenlänge höchstmögliche Beugungseffizienz erreicht wird oder ein Kompromiss für das Abfallen der Beugungseffizienz hergestellt wird. Der Abfall ist ebenfalls umso größer, je größer der Spektralbereich ist.

[0007] Eine bekannte Methode zur Umgehung dieses Problems stellt die Verwendung von Echelle-Systemen dar, wie dies in EP 442 596 B1 beschrieben ist. Hierbei wird ein Plangitter in sehr hohen Beugungsordnungen verwendet, wobei zunächst kurze, sich überlagernde Spektralbereiche entstehen, die alle in der Nähe des Blazewinkels arbeiten. Zur lateralen Trennung der Spektren ist dem System ein Prisma zugefügt, welches senkrecht zur Dispersionsrichtung des Gitters arbeitet. Dadurch erhält man viele lateral übereinander liegende Ordnungszeilen. Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens ist allerdings die Verwendung eines Flächenempfängers.

[0008] Die Ursache für die spektrale Schwankung der Beugungseffizienz liegt darin, dass das elektromagnetische Verhalten des Gitters einen mehr oder weniger großen Teil des Lichtes in andere als die gewünschte 1. Beugungsordnung beugt, welches dadurch verloren ist und sogar noch Streulichtprobleme erzeugt. Insbesondere geht der größte Teil der Energie in der 0.-Beugungsordnung verloren, insbesondere dann, wenn keine weiteren Beugungsordnungen größer 1 und keine kleiner 0.-Beugungsordnung physikalisch auftreten können.

[0009] Die Erfindung soll die Aufgabe lösen, mit wenig Aufwand die Beugungseffizienz einer spektralanalytischen Einheit mit einem Gitter signifikant zu erhöhen.

[0010] Die Lösung der Aufgabe gelingt bei einer spektralanalytischen Einheit mit einem Beugungsgitter eingangs genannter Art mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1.

[0011] Die Unteransprüche 2 bis 13 sind vorteilhafte Ausgestaltungen des Hauptanspruchs.

[0012] Die Erfindung beruht darauf, dass die bei der Beugung an einem Gitter entstehende 0.-Beugungsordnung energetisch nicht „verloren“ geht, wie dies zum Beispiel durch Ausblenden oder Absorbieren erfolgt, sondern wieder in die spektrale Einheit einzukoppeln und mindestens noch einmal beugen zu lassen. Dabei entstehen nach diesem wiederholten Durchgang ein Anteil an 1.-Beugungsordnung und wieder ein gewisser Restteil an 0.-Beugungsordnung. Dieser wird abermals zurückgekoppelt und noch einmal gebeugt. Theoretisch kann diese Schleife „unendlich“ oft durchlaufen werden und die erreichte Beugungseffizienz konvergiert gegen die Summe aus der ursprünglichen 0.-Beugungsordnung und 1.-Beugungsordnung für die jeweilige Farbe. Im Falle, daß nur die 0.-Beugungsordnung und 1.-Beugungsordnung existiert, würde man also über dem gesamten Spektralbereich bis auf Absorptionsverluste ideale Beugungseffizienz erreichen.

[0013] Begrenzt wird das Verfahren nur durch die maximal mögliche Größe des Beugungsgitters, der Spiegel und der Fokussierungsoptik. Insbesondere bei moderaten Bündeldurchmessern kann man eine relativ hohe Zyklenzahl realisieren. Der Vorteil dieser Anordnung ist weiterhin, dass sie sich nachträglich in vorhandene Polychromatoraufbauten relativ leicht integrieren lässt.

[0014] Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von Figuren beschrieben. Es zeigen:

[0015] [Fig. 1](#): Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter, zwei Umlenkspiegeln und einem fokussierenden Spiegel

[0016] [Fig. 2](#): Darstellung der Anordnung gemäß [Fig. 1](#) in der Dispersionsebene des Beugungsgitters

[0017] [Fig. 3](#): Ausschnitt aus [Fig. 2](#) zur Darstellung der Lage der Umlenkspiegel

[0018] [Fig. 4](#): Anordnung nach [Fig. 1](#) in einer Seitenansicht

[0019] [Fig. 5](#): Effizienz der erfindungsgemäßen Anordnung mit Rückkopplung der 0.-Beugungsordnung

[0020] [Fig. 6](#): Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter und einem Umlenkspiegel

[0021] [Fig. 7](#): Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter und drei Umlenkspiegeln

[0022] [Fig. 8](#): Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter, zwei Umlenkspiegeln und einer sammelnden Linse

[0023] [Fig. 9](#): Schematischer Aufbau eines konfokalen Laser-Scanning-Mikroskops mit der erfindungsgemäßen spektralanalytischen Einheit als Meßeinrichtung

[0024] [Fig. 10](#): Eine weitere Ausführung der spektralanalytischen Einheit mit einem Beugungsgitter, mit zwei Umlenkspiegeln

[0025] [Fig. 11](#): Spektralanalytische Einheit, bei der das Beugungsgitter und die Umlenkspiegel eine monolithische Einheit bilden

[0026] [Fig. 1](#) zeigt schematisch den Aufbau der spektralanalytischen Einheit mit einem Beugungsgitter und zwei Umlenkspiegeln.

[0027] Ein einfallendes, im Wesentlichen paralleles Lichtbündel **10** trifft auf ein Beugungsgitter **1**. Dieses wird bei entsprechender Dimensionierung des Beugungsgitters **1** in ein Lichtbündel 1.-Beugungsordnung **11** spektral gebeugt und in ein Lichtbündel 0.-Beugungsordnung **12** aufgespaltet. Das Lichtbündel 1.-Beugungsordnung **11** trifft auf einen fokussierenden Spiegel als Optik **2** und wird auf eine Detektorzeile **8** eines Zeilenempfängers **3** entlang der Ausbreitungsrichtung der Zeile konzentriert. Die Detektorzeile besteht aus CCD-Einzellementen **7**. In Ausbreitungsrichtung der Zeile wird die spektrale Aufspaltung des Lichtbündels 1.-Beugungsordnung detektiert.

[0028] Zu dem Beugungsgitter **1** wird ein erster Umlenkspiegel **4** so angeordnet, dass er das Lichtbündel 0.-Beugungsordnung **12** in Richtung des einfallenden Lichtbündels **10** reflektiert. An einem Ort, der möglichst nahe dem einfallenden Lichtbündel **10** liegt, wird ein zweiter Umlenkspiegel **5** so positioniert, dass er das Lichtbündel 0.-Beugungsordnung parallel zum einfallenden Lichtbündel **10** wieder auf das Beugungsgitter **1** lenkt. Dabei ist der vom Lichtbündel 0.-Beugungsordnung beleuchtete Ort auf dem Beugungsgitter **1** um den Betrag

a_1 gegenüber dem Ort des einfallenden Lichtbündels **10** in x-Richtung verschoben. Das Lichtbündel 0.-Beugungsordnung **12** wird dort unter gleichen Bedingungen wie das einfallende Lichtbündel **10** gebeugt. Die hierbei wiederum entstehende 0.-Beugungsordnung **14** wird erneut höherversetzt über die zwei Umlenkspiegel **4** und **5** eingekoppelt und erreicht das Gitter im Abstand a_2 . Ein weiterer Umlauf der Lichtbündel 0.-Beugungsordnung **16** erreicht das Gitter im Abstand a_3 . Im Allgemeinen reicht es bereits aus, drei solcher Durchläufe, hier mit den Lichtbündeln 0.-Beugungsordnung **12**, **14** und **16** zu realisieren, um eine signifikante Effizienzsteigerung zu erreichen. Im Beispiel wird das Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus dem dritten Umlauf **18** nicht genutzt, weil dieses vernachlässigbar ist.

[0029] Alle gleichen Wellenlängen der Lichtbündel 1.-Beugungsordnung **11**, **13**, **15** und **17** werden durch die Optik **2** in jeweils einem Punkt auf die Detektorzeile **8** abgebildet, so daß eine Linie auf der Detektorzeile **8** den spektralen Verlauf wiedergibt. Die Lichtbündel 1.-Beugungsordnung, die einer Wellenlänge, beispielhaft sind die Wellenlängen λ_1 , λ_2 , und λ_3 dargestellt, zuzuordnen sind, treffen an jeweils einem Ort auf die Detektorzeile **8**. Da die Detektorzeile **8** aus endlich großen Einzelementen **7** besteht, wird in der Breite b des Einzelementes **7** von etwas weniger als 1 mm ein Wellenlängenteilbereich von etwa 10 nm empfangen. In diesem Beispiel sind 32 Einzelempfänger **7** auf der Detektorzeile **8**, die 32 mm breit ist, angeordnet. Die Einzelempfänger haben eine Höhe h von 10 mm. Der gemessene Wellenlängenbereich liegt zwischen 380 nm und 780 nm.

[0030] Damit das Verfahren optimal arbeitet, muß das Profildesign des Beugungsgitters **1** so ausgelegt sein, dass möglichst nur die 0.-Beugungsordnung als Falschlichtordnung auftritt. Dies erreicht man dadurch, dass das Blazemaximum des Gitters in den kurzwelligen Bereich verschoben wird. Bei mechanischen Dreiecksprofilen würde das bedeuten, dass der Flankenwinkel flacher wird. Zum Beispiel ist bei einem Beugungsgitter das bei 500 nm 70% in die 1.-Beugungsordnung und die restlichen 30% in die 0.-Beugungsordnung beugt, folgendes Verhalten auftreten:

- Intensität nach 1. Durchlauf = 70% (Ausgangszustand) (30% verbleiben in der 0.-Beugungsordnung)
- Intensität nach 2. Durchlauf = $70\% + 70\% \times 30\% = 91\%$ (9% verbleiben in der 0.-Beugungsordnung)
- Intensität nach 3. Durchlauf = $91\% + 70\% \cdot 9\% = 97.3\%$ (2.7% verbleiben in der 0.-Beugungsordnung)

[0031] Bei dieser Beispielrechnung sind Absorptionsverluste nicht berücksichtigt, weil diese vernachlässigbar sind.

[0032] [Fig. 2](#) ist eine Darstellung der Anordnung gemäß [Fig. 1](#) in einer Darstellung, in der das einfallende Lichtbündel **10** und die gebeugten Lichtbündel der 1.-Beugungsordnungen **11**, **13**, **15**, **17** in der Blattebene liegen. Die Lichtbündel 0.-Beugungsordnung **12**, **14** und **16** werden durch den ersten Umlenkspiegel **4** unterhalb des einfallenden Lichtbündels **10** gelenkt. Der zweite Umlenkspiegel **5** lenkt dieses Lichtbündel 0.-Beugungsordnung parallel zum Lichtbündel 1.-Beugungsordnung wieder auf das Beugungsgitter **1**.

[0033] [Fig. 3](#) zeigt einen Ausschnitt von [Fig. 2](#) zur Veranschaulichung der Lage der Achsen des Bezugssystems.

[0034] Der Koordinatenursprung liegt im Scheitel des Beugungsgitters **1**, die positive Z-Achse zeigt in Richtung des verlängerten einfallenden Lichtbündels **10**. Die Reihenfolge der Translation bzw. Verkippung der Bauelemente ist wie folgt:

- Ausführung der Translation in Richtung x, y, z
- Drehung um die jeweils flächeneigene X-Achse (alpha-Winkel)
- Drehung um die jeweils flächeneigene Y-Achse (beta-Winkel)
- Drehung um die jeweils flächeneigene Z-Achse (gamma-Winkel)

Bauelement	X	Y	Z	alpha	beta	gamma
Ursprung	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Beugungsgitter 1 (Liniengitter)						
	0.0	0.0	0.0	36.0	0.0	0.0
Umlenkspiegel 4 (Planspiegel)						
	0.0	-38.04226	-12.36068	99.0	-3.4006	0
Umlenkspiegel 5 (Planspiegel)						
	5.00273	0.03365	-40.14952	153.1634	-3.3957	4.1346
Optik 2 (fokussierender Spiegel)						
	1.08218	-40.56915	-74.59381	-176.3830	0.6787	5.1892
Zeilenempfänger 3 (CCD-Zeile)						
	-0.82344	-65.81362	-8.70134	-178.0008	0.5315	5.2063

[0035] Die Erfindung ermöglicht einen Spektralbereich von 380 nm–700 nm zu detektieren. Dabei beträgt die Länge des Spektrums 31,2 mm. Der Durchmesser des einfallenden Lichtbündels **10** beträgt 3,0 mm, die Gitterstrichzahl ist mit 1300 Linien/mm bestimmt.

[0036] Der Versatz der Lichtbündel 0.-Beugungsordnung in X-Richtung beträgt pro Umlauf 5,0 mm.

[0037] Der erste Umlenkspiegel **4** und der zweite Umlenkspiegel **5** sind Planspiegel, die Optik **2** ist ein Spiegel mit einem Radius von 151,0 mm (cc).

[0038] [Fig. 4](#) zeigt eine weitere Ansicht der in [Fig. 1](#) dargestellten Anordnung in der x-z-Ebene. Die Zeichenebene liegt senkrecht zur Dispersionsebene. Die Lichtbündel 0.-Beugungsordnung **12**, **14**, **16** treffen in x-Richtung versetzt an unterschiedlichen Orten auf das Beugungsgitter **1** auf.

[0039] [Fig. 5](#) zeigt die Beugungseffizienz als Funktion der Wellenlänge für eine bekannte einfache Anordnung mit einem Liniengitter mit 1302 Linien in Aluminium. Das Lichtbündel 1.-Beugungsordnung **11**, welches aus einem einfallenden Lichtbündel erzeugt wird, erreicht im Spektralgebiet um 530 nm ihr Intensitätsmaximum bei nahe 80% und fällt beidseitig stetig bis nahezu 40% ab. Die entsprechende Kurve ist mit **11** bezeichnet.

[0040] Weiterhin zeigt die Figur, dass mit einer steigenden Zahl von Rückkopplungen der Lichtbündels 0.-Beugungsordnung eine zunehmende Effizienzsteigerung erreicht wird. Der Intensität des Lichtbündels 1.-Beugungsordnung **11** aus dem einfallenden Lichtbündel werden Intensitäten der Lichtbündel 1.-Beugungsordnung **13** aus dem ersten Umlauf sowie die Intensitäten der Lichtbündel **15** und **17** aus weiteren Umläufen hinzugefügt. Die entsprechenden resultierenden Kurven sind mit **11**, **13**, **15** und **17** bezeichnet.

[0041] [Fig. 6](#) zeigt schematisch eine spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter und einem einzigen Umlenkspiegel.

[0042] Das einfallende Lichtbündel **10** fällt hier um die y-Achse leicht verkippt auf das Beugungsgitter **1** ein, wobei das Beugungsgitter **1** und der Umlenkspiegel **4** vorzugsweise parallel zueinander stehen. Die Lichtbündel 0.-Beugungsordnung werden hier unterhalb der Zeichnungsebene mit dem Umlenkspiegel **4** auf das Beugungsgitter **1** zurückreflektiert.

[0043] [Fig. 7](#) zeigt schematisch eine spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter und drei Umlenksiegeln **4**, **5** und **6**. Es können aber auch mehr als drei Umlenkspiegel verwendet werden.

[0044] [Fig. 8](#) zeigt eine spektralanalytische Einheit entsprechend [Fig. 1](#) mit einem Beugungsgitter, zwei Umlenksiegeln und einer sammelnden Linse als Optik **2**.

[0045] [Fig. 9](#) zeigt den schematischen Aufbau eines konfokalen Laser-Scanning-Mikroskops **101** mit der erfindungsgemäßen spektralanalytischen Einheit **100** als Meßeinrichtung. Die spektralanalytische Einheit **100** entspricht in ihrem Aufbau der in [Fig. 7](#) dargestellten Anordnung.

[0046] Das von einer Lichtquelle **20** ausgehende Strahlenbündel gelangt über einen Hauptfarbteiler **21**, einen

x-y-Scanner **22**, eine Scann-Optik **23**, eine Tubuslinse **25** und ein Objektiv **26** zur Probe **27**.

[0047] Das von der Probe **27** ausgehende Lichtbündel gelangt über das Objektiv **26**, die Tubuslinse **25**, die Scann-Optik **23** den x-y-Scanner **22**, den Hauptfarbteiler **21** sowie eine Pinhole-Optik **28**, ein Pinhole **29**, eine Kollimatoroptik **30** und einen Emissionsfilter **31** auf das Beugungsgitter **1**.

[0048] Zwischen der Scann-Optik **23** und der Tubuslinse **25** entsteht ein Zwischenbild **24**. Mit der erfindungsgemäßen spektralanalytischen Einheit gelingt es mit vergleichsweise geringem Aufwand eine Steigerung der Lichtausbeute bei einer spektralen Messung von bis zu mehr als 40% zu erreichen.

[0049] Dabei ist der Raumbedarf für die zusätzliche Umlenkeinrichtung und den zusätzlichen Strahlengang gering.

[0050] Besonders vorteilhaft ist auch, dass sich die Erfindung auch in bereits vorhandenen Laser-Scanning-Mikroskope und andere spektrometrische Geräte einbauen lässt.

[0051] Gemäß [Fig. 10](#) ist es auch möglich, den zweiten Umlenkspiegel **5** so zu drehen, dass die Lichtbündel 0.-Beugungsordnung **12, 14, 16** nach jedem Umlauf die gleiche Stelle des Beugungsgitters **1** treffen. In diesem Falle entsteht allerdings ein offplane-Winkel quer zur Dispersionsrichtung am Gitter, wodurch die spektralen Fokalorte für die einzelnen Umläufe auf dem Zeilenempfänger **3** in verschiedenen lateralen Höhen **h** entstehen. Bei der gegebenen hinreichend großen Empfängerhöhe **h** werden mit jedem Einzelement **7** Wellenlängenteilbereiche aller spektral aufgespalteten Lichtbündel der 1.-Beugungsordnungen **11, 13, 15, 17** aus den verschiedenen Umläufen erfaßt.

[0052] [Fig. 11](#) zeigt eine spektralanalytische Einheit, bei der das Beugungsgitter **1** und die Umlenkeinrichtung eine Einheit bilden. Ein prismenartiger Grundkörper (Prismenteil **40**) enthält eine Lichteintrittsfläche **41** für das einfallende Lichtbündel **10** und eine Lichtaustrittsfläche **44** für die Lichtbündel 1.-Beugungsordnungen **11, 13, 15, 17**. Zwei Seitenwände sind verspiegelt und bilden mit den Siegelflächen **41** und **42** die Umlenkeinrichtung. Das Beugungsgitter **1** ist in eine Grundfläche des Prismenteils **40** eingebracht.

Bezugszeichenliste

- 1** Beugungsgitter (Liniengitter)
- 2** Optik (fokussierender Spiegel, Linse)
- 3** Zeilenempfänger (Sensorelemente einer CCD)
- 4** erster Umlenkspiegel (Planspiegel)
- 5** zweiter Umlenkspiegel (Planspiegel)
- 6** dritter Umlenkspiegel (Planspiegel)
- 7** Einzelement
- 8** Detektorzeile
- 9** Auswerteelektronik
- 10** einfallendes Lichtbündel (parallel)
- 11** Lichtbündel 1.-Beugungsordnung ohne Umlauf (aus dem einfallenden Lichtbündel)
- 12** Lichtbündel 0.-Beugungsordnung ohne Umlauf (aus dem einfallenden Lichtbündel)
- 13** Lichtbündel 1.-Beugungsordnung aus dem ersten Umlauf
- 14** Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus dem ersten Umlauf
- 15** Lichtbündel 1.-Beugungsordnung aus dem zweiten Umlauf
- 16** Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus dem zweiten Umlauf
- 17** Lichtbündel 1.-Beugungsordnung aus dem dritten Umlauf
- 18** Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus dem dritten Umlauf ist vernachlässigbar
- 19**
- 20** Lichtquelle
- 21** Hauptfarbteiler
- 22** x-y-Scanner
- 23** Scann-Optik
- 24** Zwischenbild
- 25** Tubuslinse
- 26** Objektiv
- 27** Probe
- 28** Pinhole-Optik

29	Pinhole
30	Kollimatoroptik
31	Emissionsfilter
40	Prismenteil
41	Lichteintrittsfläche
42	Spiegelfläche
43	Spiegelfläche
44	Lichtaustrittsfläche
100	Spektralanalytische Einheit
101	konfokales Laser-Scanning-Mikroskop
a	Abstand der Lichtbündel 0.-Beugungsordnung vom einfallenden Lichtbündel
α	Winkel der Lichtbündel 0.-Beugungsordnung in Bezug zum einfallenden Lichtbündel
h	Höhe des Einzelempfängers, Höhe der Detektorzeile
b	Breite des Einzelempfängers
d	Breite der Detektorzeile
n	Anzahl der Einzelempfänger

Patentansprüche

1. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter, bei der ein paralleles Lichtbündel (10), welches einen Wellenlängenbereich aufweist, auf ein Beugungsgitter (1) einfällt, welches die unterschiedlichen Wellenlängen durch Beugung in erste Richtungen spektral aufspaltet, wobei diese Lichtbündel als Lichtbündel 1.-Beugungsordnung ohne Umlauf (11) bezeichnet werden, und das Beugungsgitter (1) Lichtbündel in eine zweite Richtung lenkt, wobei dieses Lichtbündel als Lichtbündel 0.-Beugungsordnung ohne Umlauf (12) bezeichnet wird, weiterhin Wellenlängenteilbereiche des spektral aufgespalteten Lichtbündels 1.-Beugungsordnung ohne Umlauf (11) durch eine Optik (2) auf eine Detektorzeile (8) fokussierbar sind und eine Auswertelektronik (9) an die Detektorzeile (8) angeschlossen ist, welche das erzeugte Spektrum als Information gewinnt und darstellt, dadurch gekennzeichnet, daß das Lichtbündel 0.-Beugungsordnung ohne Umlauf (12) auf eine Umlenkeinrichtung (Umlenkspiegel 4, 5, 6) trifft, die so ausgerichtet und positioniert ist, daß dieses Lichtbündel auf das Beugungsgitter (1) einfällt und ein Lichtbündel 1.-Beugungsordnung aus dem ersten Umlauf (13) und ein Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus dem ersten Umlauf (14) erzeugbar sind, wobei das Lichtbündel 1.-Beugungsordnung ohne Umlauf (11) und das Lichtbündel 1.-Beugungsordnung aus dem ersten Umlauf (13) jeweils eines Wellenlängenteilbereiches durch die Optik (2) auf jeweils ein Einzelement (7) der Detektorzeile (8) abbildbar sind.

2. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das reflektierte Lichtbündel 0.-Beugungsordnung unter dem gleichen Winkel wie das einfallende Lichtbündel (10), jedoch um einen Abstand (a) in X-Richtung zum einfallenden Lichtbündel (10) versetzt, auf das Beugungsgitter (1) einfällt.

3. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das reflektierte Lichtbündel 0.-Beugungsordnung unter einem anderen Winkel α , jedoch am gleichen Ort wie das einfallende Lichtbündel (1), auf das Beugungsgitter (1) einfällt.

4. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus dem ersten Umlauf (14) auf die Umlenkeinrichtung (Umlenkspiegel 4, 5, 6) trifft, weiterhin auf das Beugungsgitter (1) einfällt und ein Lichtbündel 1.-Beugungsordnung aus dem zweiten Umlauf (15) und ein Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus dem zweiten Umlauf (16) erzeugbar ist, wobei das Lichtbündel 1.-Beugungsordnung ohne Umlauf (11), das Lichtbündel 1.-Beugungsordnung aus dem ersten Umlauf (13) und das Lichtbündel 1.-Beugungsordnung aus dem zweiten Umlauf (15) des jeweiligen Wellenlängenteilbereiches durch die Optik (2) auf das jeweils eine Einzelement (7) der Detektorzeile (8) abbildbar sind.

5. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus dem zweiten Umlauf (16) und Lichtbündel 0.-Beugungsordnung aus weiteren Umläufen (18) auf die Umlenkeinrichtung treffen, auf das Beugungsgitter (1) eingespiegelt und spektral aufgespaltet werden.

6. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die reflektierten Lichtbündel 0.-Beugungsordnung (12, 14, 16) unter dem gleichen Winkel wie das einfallende

Lichtbündel (10), jedoch um einen Abstand (a_1, a_2, a_3) in X-Richtung zum einfallenden Lichtbündel (10) versetzt, auf das Beugungsgitter (1) einfallen.

7. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die reflektierten Lichtbündel 0.-Beugungsordnung (12, 14, 16) unter einem abweichenden Winkel ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$), jedoch am gleichen Ort wie das einfallende Lichtbündel (10), auf das Beugungsgitter (1) einfallen, dabei alle Lichtbündel 1.-Beugungsordnung (11, 13, 15, 17) eines Wellenlängenteilbereiches in einer Richtung senkrecht zur Breite (d) der Detektorzeile (8) versetzt auf jeweils eine Detektorzeile (8) abbildbar sind, wobei die Höhe (h) der Einzelemente (7) so groß bemessen ist, daß alle Lichtbündel 1.-Beugungsordnung (11, 13, 15, 17) eines Wellenlängenteilbereiches detektierbar sind.

8. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenleinrichtung ein erster Umlenkspiegel (4) ist, der die vom Beugungsgitter (1) gebeugten Lichtbündel 0.-Beugungsordnung (12, 14, 16, ...) nach einer Reflexion wieder auf das Beugungsgitter (1) lenkt.

9. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenleinrichtung eine Kombination aus einem ersten Umlenkspiegel (4) und einem zweiten Umlenkspiegel (5) ist, welche die vom Beugungsgitter (1) gebeugten Lichtbündel 0.-Beugungsordnung (12, 14, 16, ...) nach zwei Reflexionen wieder auf das Beugungsgitter (1) lenken.

10. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenleinrichtung eine Kombination aus mehr als zwei Umlenkspiegeln besteht.

11. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenleinrichtung ein Prismenteil (40) ist, welches senkrecht zur Dispersionsebene des Beugungsgitters (1) mindestens vier optisch wirksame Flächen aufweist, wobei einer Lichteintrittsfläche (41) das Beugungsgitter (1) gegenüberliegt und das Beugungsgitter (1) in das Prismenteil (40) eingebracht ist, weiterhin eine Lichtaustrittsaustrittsfläche (44) für die Lichtbündel 1.-Beugungsordnung und mindestens eine spiegelnde Fläche (42, 43) für Reflexion der Lichtbündel 0.-Beugungsordnung vorgesehen sind.

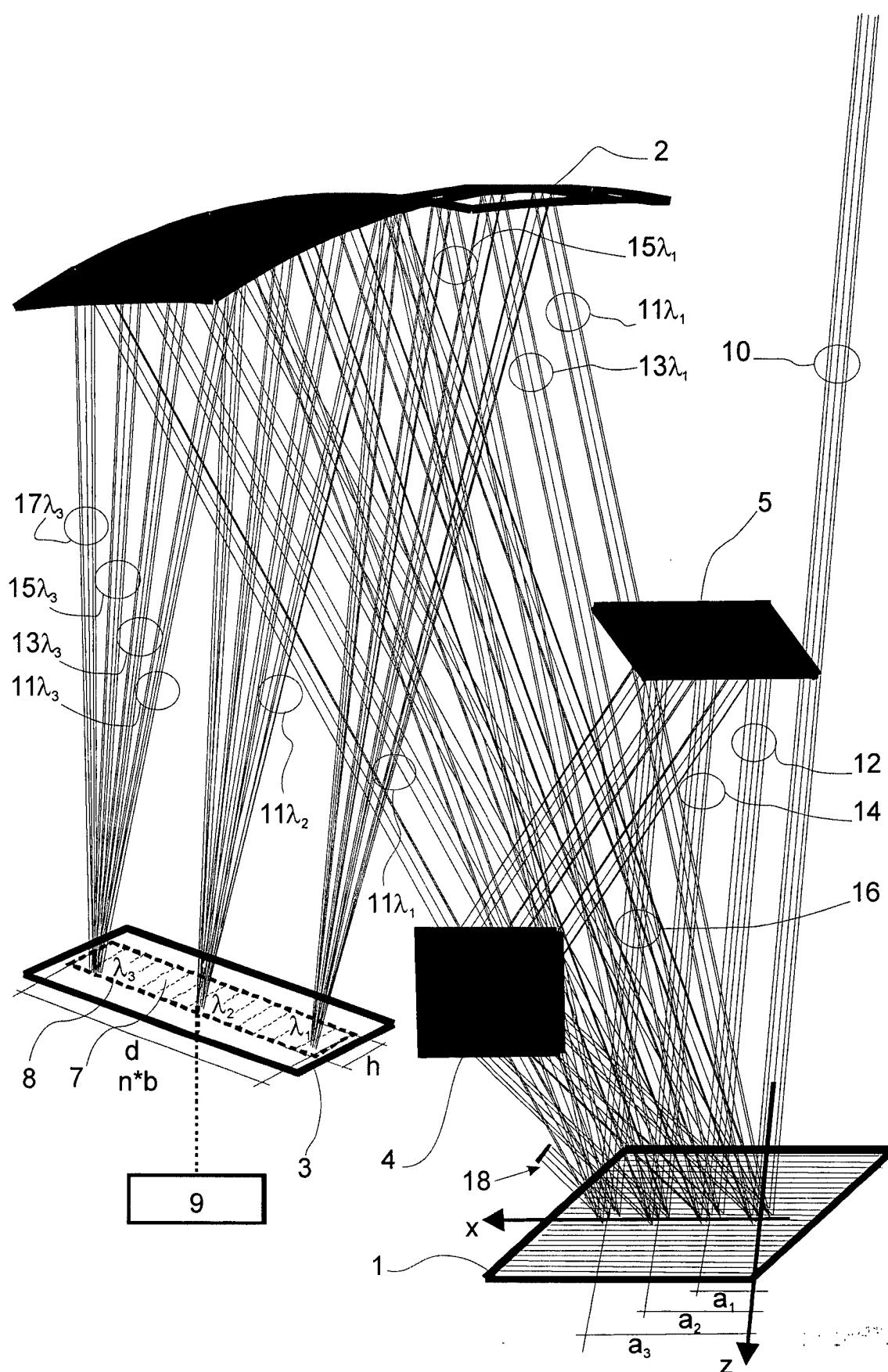
12. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Optik (2) ein fokussierender Spiegel ist.

13. Spektralanalytische Einheit mit einem Beugungsgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Optik (2) eine Licht bündelnde Linse ist.

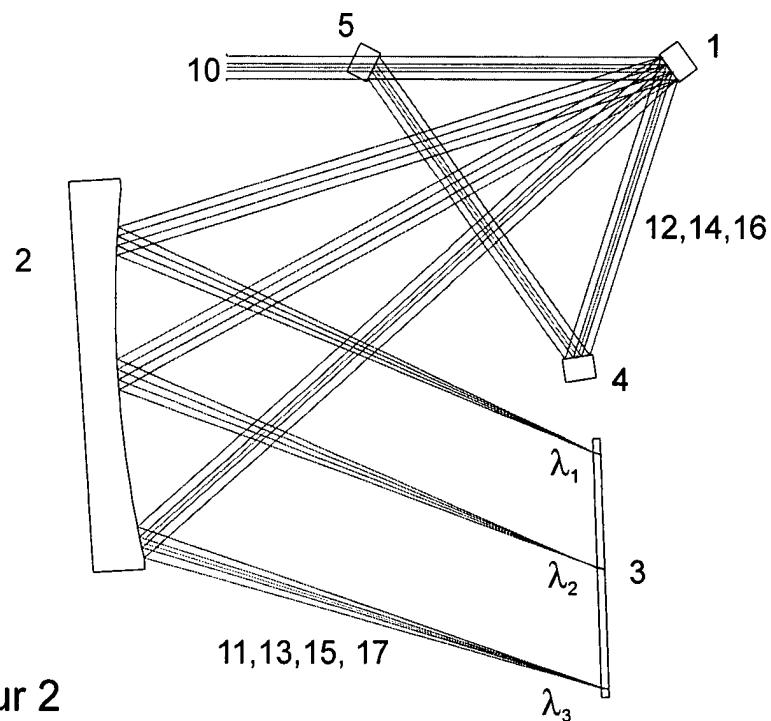
14. Laser-Scanning-Mikroskop mit einer spektralanalytischen Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

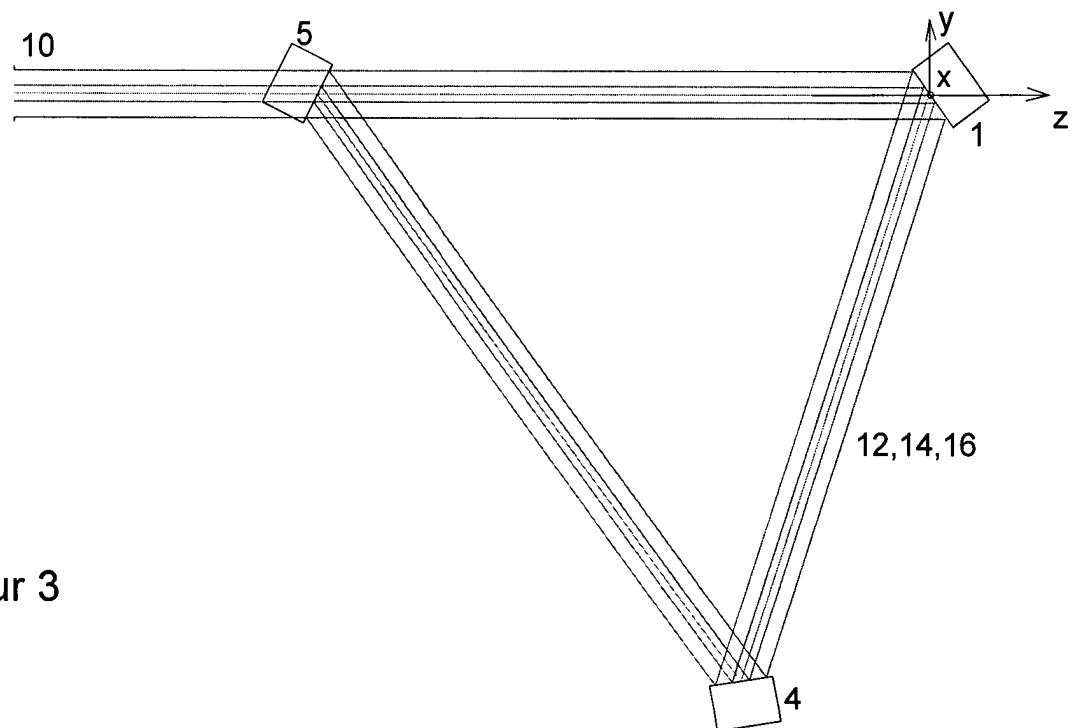
Anhängende Zeichnungen



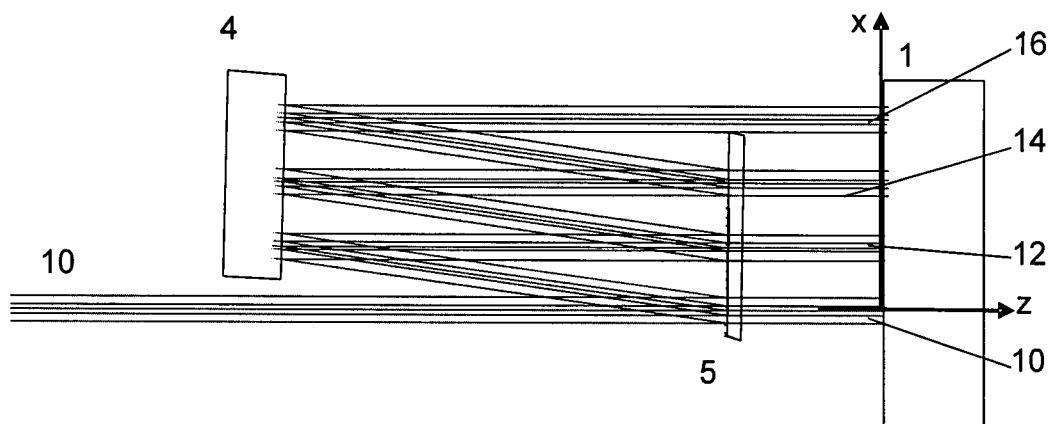
Figur 1



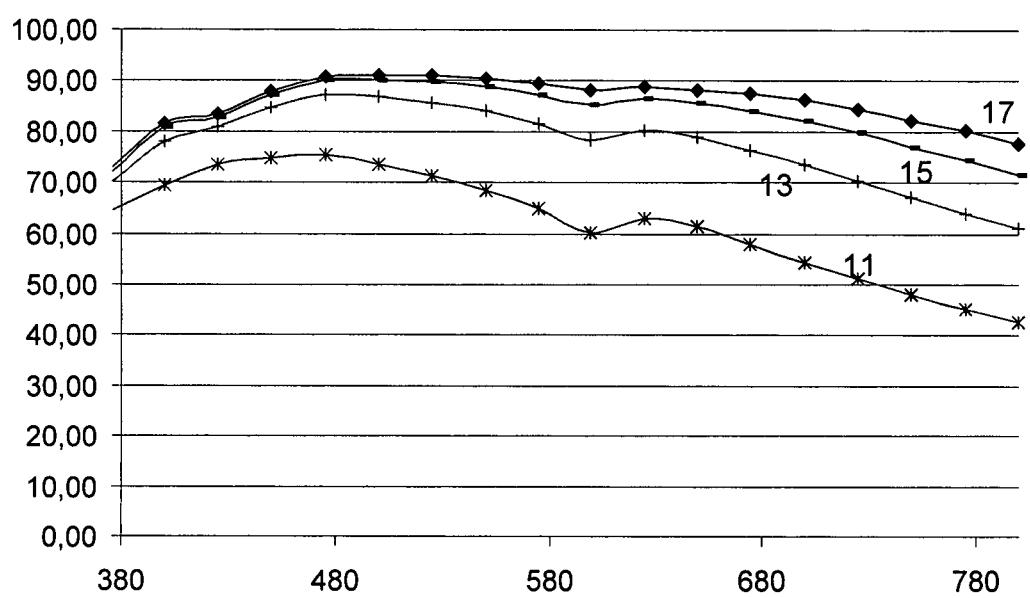
Figur 2



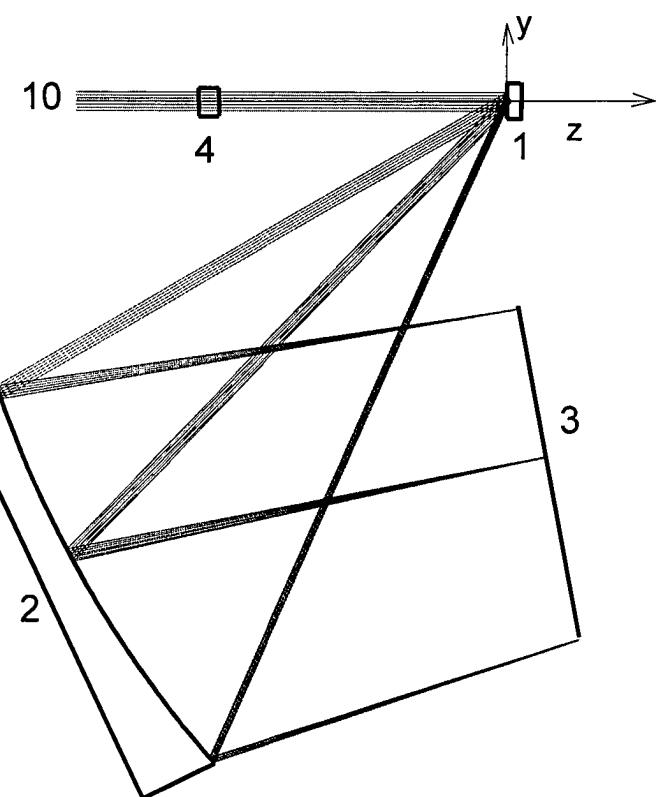
Figur 3



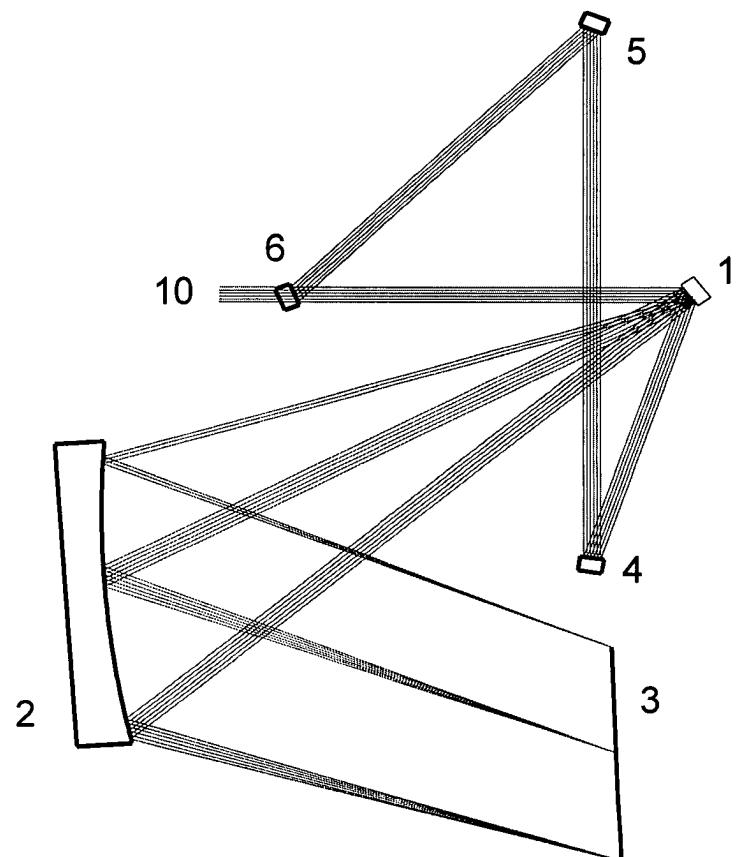
Figur 4



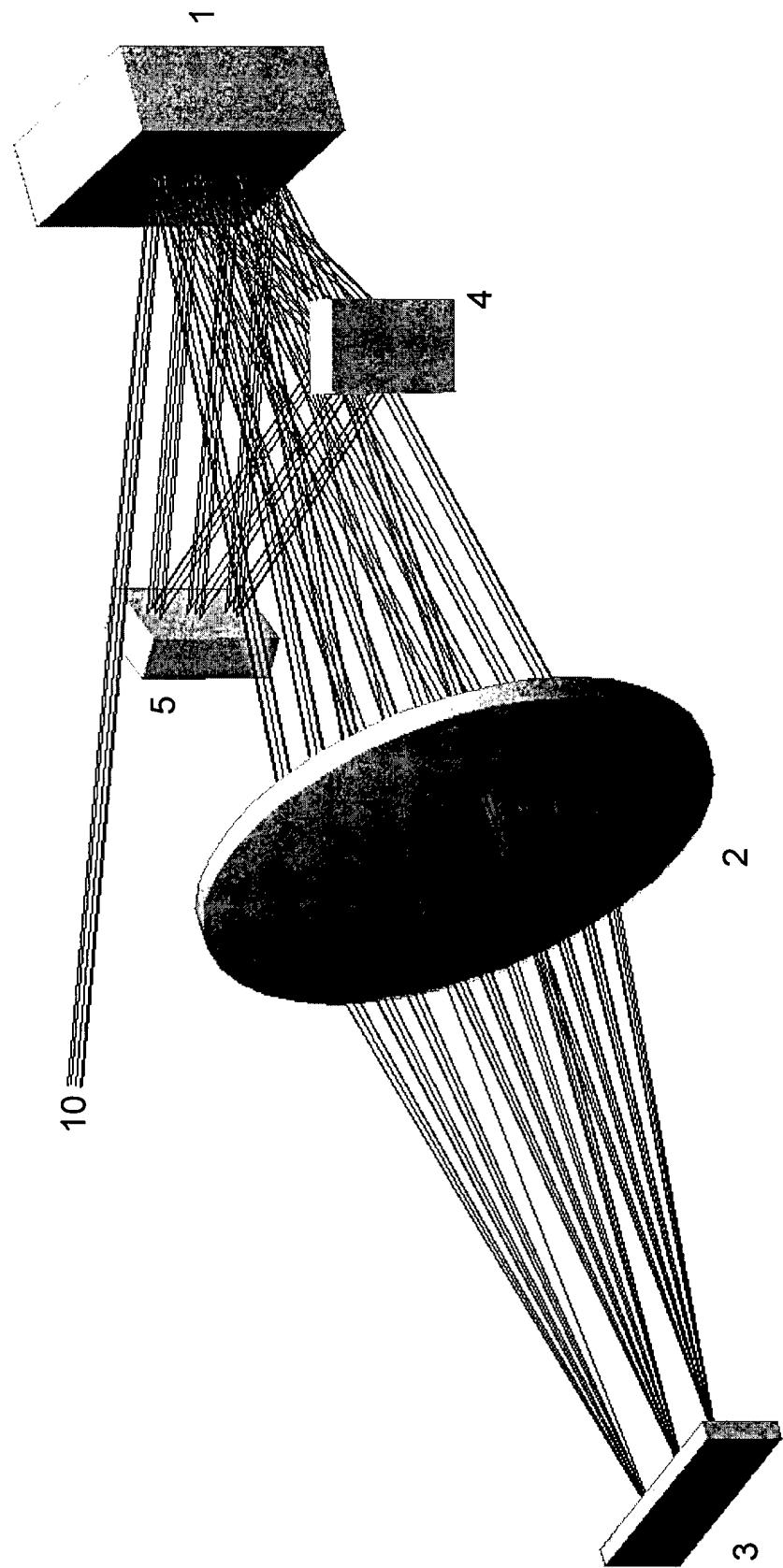
Figur 5



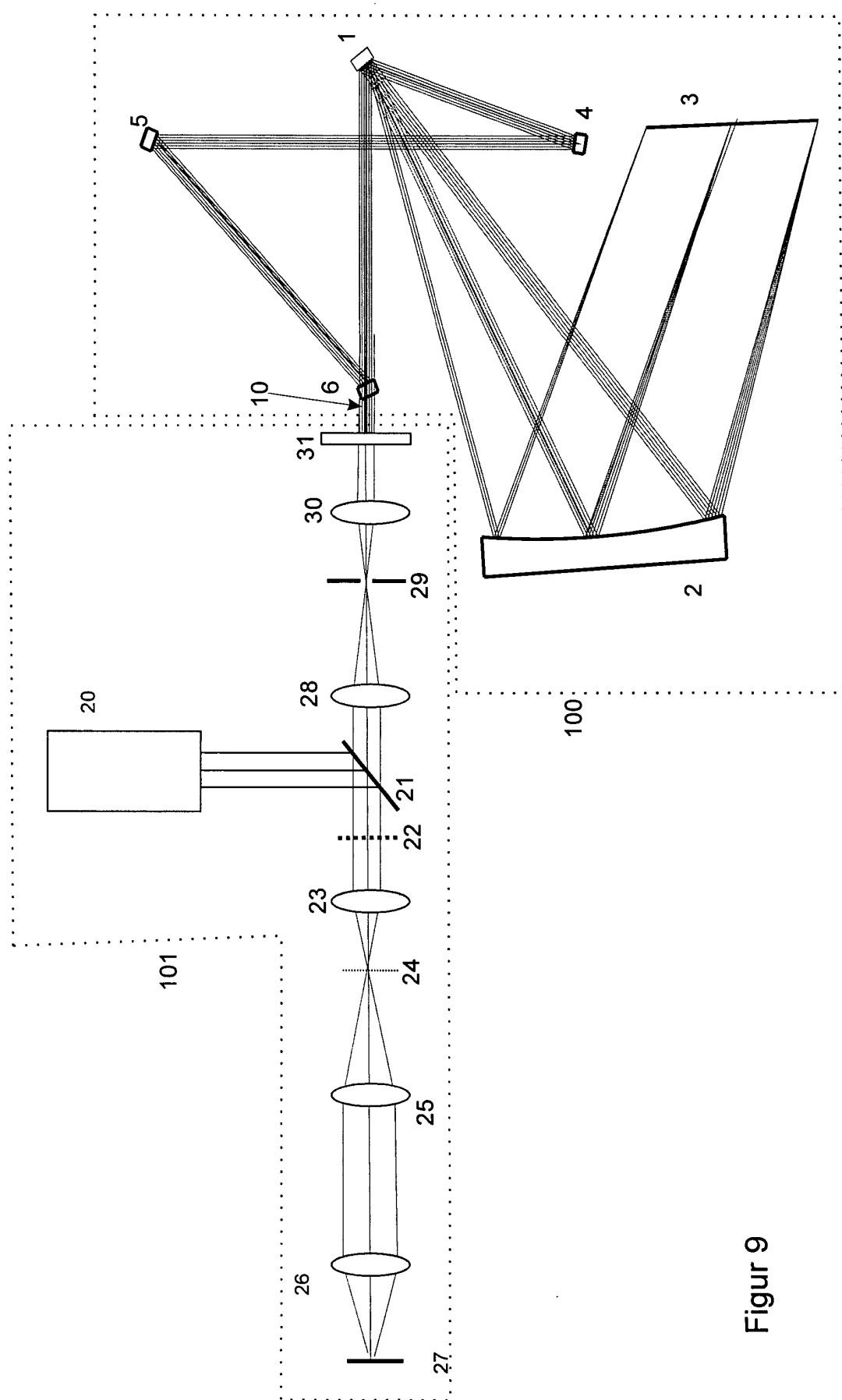
Figur 6



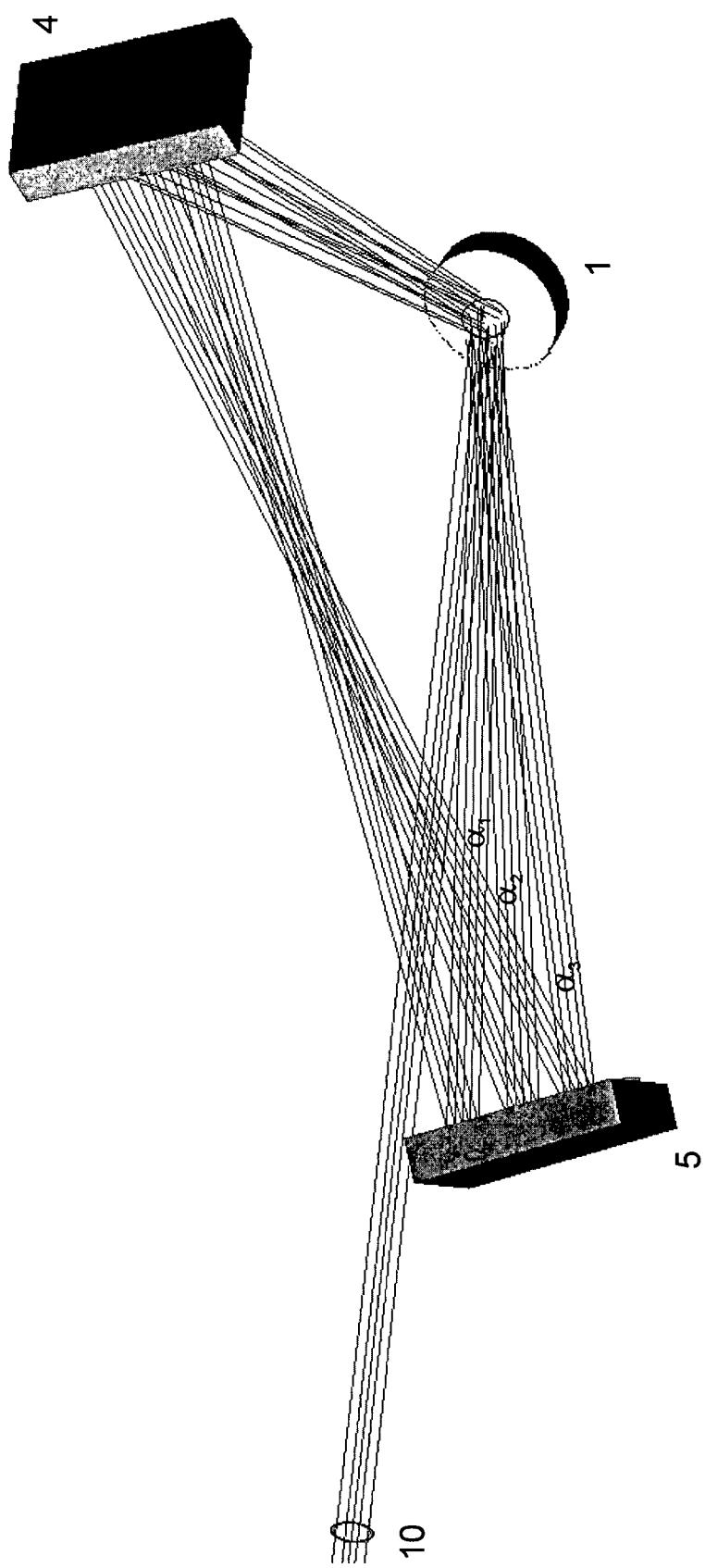
Figur 7



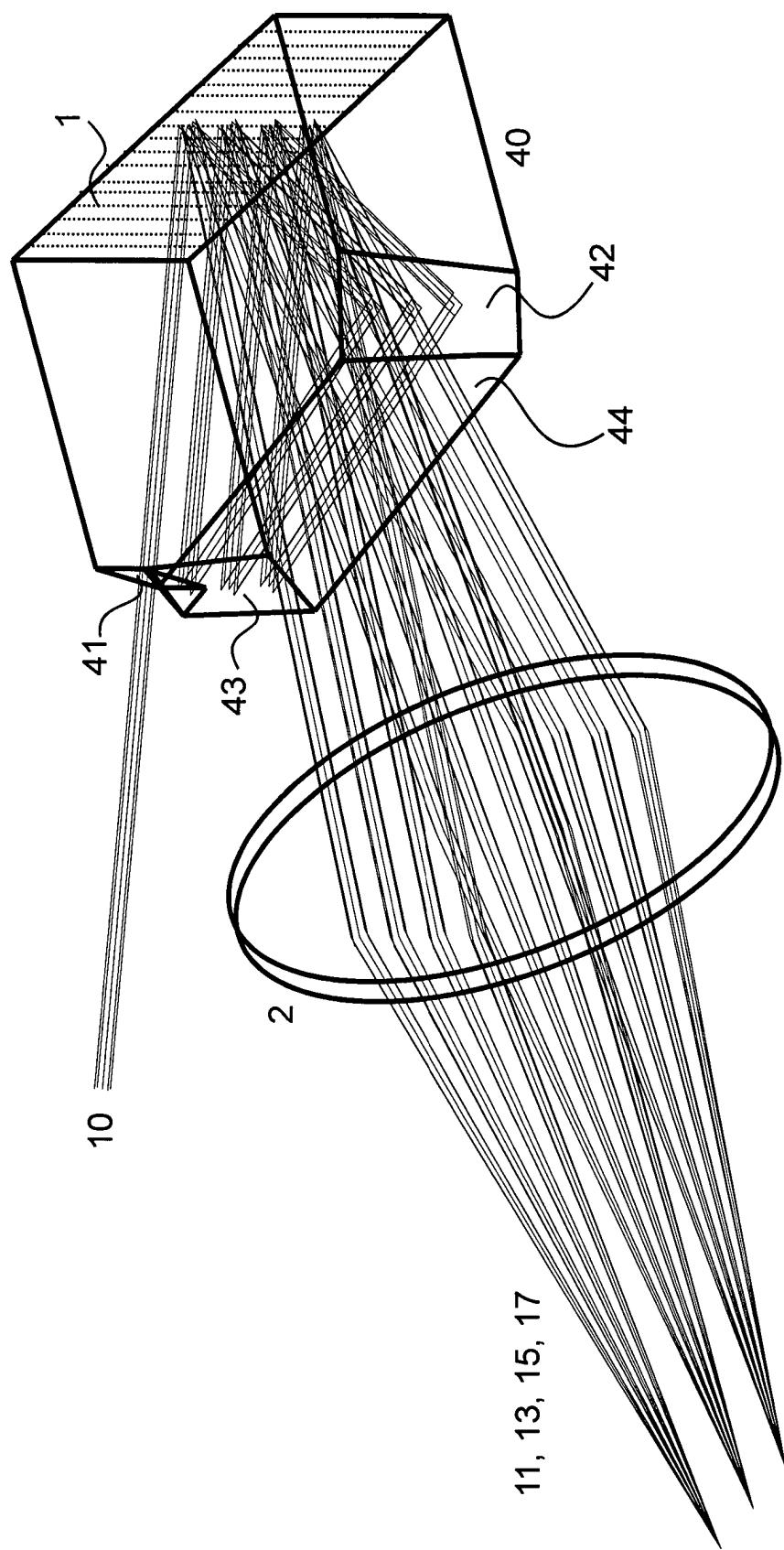
Figur 8



Figur 9



Figur 10



Figur 11