



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 20 2008 009 859 U1 2009.04.09

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: 20 2008 009 859.9

(51) Int Cl.⁸: G01N 21/64 (2006.01)

(22) Anmelddetag: 23.07.2008

(47) Eintragungstag: 05.03.2009

(43) Bekanntmachung im Patentblatt: 09.04.2009

(66) Innere Priorität:
20 2007 017 895.6 21.12.2007

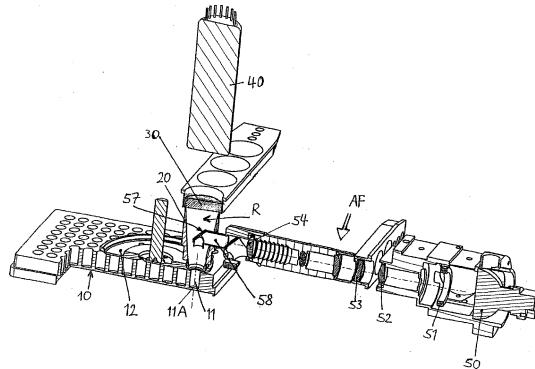
(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
Frank Wacker Schön Patentanwälte, 75173
Pforzheim

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
Berthold Technologies GmbH & Co. KG, 75323
Bad Wildbad, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Vorrichtung zur wahlweisen Messung von insbesondere Lumineszenz- und/oder Fluoreszenzstrahlung

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur wahlweisen Messung von insbesondere Lumineszenz- und/oder Fluoreszenzstrahlung aus mindestens einem Probenbehälter (11) mittels mindestens einer Lichtquelle (50) im Anregungslichtpfad (AF) für Fluoreszenzmessungen und mindestens einem Detektor (40) mit einem Wellenlängenselektor im Emissionslichtpfad (EF), dadurch gekennzeichnet, dass der Emissionslichtpfad (EF) zwischen dem zumindest einen Probenbehälter (11) und dem Wellenlängenselektor durch mindestens ein erstes, eine Reflexionskammer (R) umschliessendes Reflektorelement (20) geführt ist, das zumindest einen Teil des vom Probenbehälter (11) emittierten Lichts gerichtet auf den Wellenlängenselektor wirft, und dass der Anregungslichtpfad (AF) in der Reflexionskammer (R) bis oberhalb des Probenbehälters (11) geführt ist.



Beschreibung

Technischer Hintergrund

[0001] Im Zuge der zurückgehenden Budgets und schwieriger Kostenstruktur im Forschungsbereich sind verschiedene Hersteller von Mikroplattengeräten zu mehrfach einsetzbaren Geräten übergegangen. Dem Kunden möchte man damit ein Mehrzweckgerät für möglichst viele Applikationen zur Verfügung stellen, so dass die Anschaffung mehrerer Einzelgeräte entfällt. Trotz des höheren Preises, verglichen mit einem dedizierten Gerät, erfreuen sich diese Mehrzweckgeräte großer Nachfrage. Dem Kunden wird suggeriert, dass mit dem einen Kauf der Kauf von einzelnen Geräten überflüssig ist, und dass der Preis des Multigerätes unter der Summe der dedizierten Geräte liegt. Zur Zeit gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Geräten angefangen vom "dual label" Gerät für Lumineszenz- und Fluoreszenzmessungen in der untersten Kategorie, über "Multilabel-reader" mit Fluoreszenz, Lumineszenz und Photometrie im mittleren Preissegment bis hin zu den "High-End"-Geräten für Lumineszenz, Fluoreszenz, Photometrie, Fluoreszenz-Polarisation, Bioluminescence Resonance Energy Transfer (BRET), Fluorescence Resonance Energy Transfer (FRET), Time Resolved Fluorescence (TRF), Liquid Scintillation Counting (LSC) in den verschiedensten Kombinationen.

[0002] Leider sind beim Design solcher Mehrzweckgeräte für die gewünschten Messarten so viele Kompromisse zu schließen, dass am Ende die Leistungsfähigkeit der einzelnen Funktionen deutlich hinter der eines einzelnen Gerätes liegt.

[0003] Das Hauptproblem der unterschiedlichen Qualitäten der Funktionen eines Mehrzweckgeräts liegt in den unterschiedlichen Anforderungen der Messtechnik begründet:

Für die Fluoreszenz ist die Abbildung der Probe auf den Detektor und die parallele Lichtführung durch die Filter essentiell, wobei Übersprecheffekte ("Crosstalk") wegen der lokalen Anregung nur in geringem Umfang auftreten. Auch die Effizienz der Lichtübertragung von der Probe zum Detektor (Emissionslichtpfad) spielt bei der Fluoreszenzmessung (im Gegensatz zur Lumineszenzmessung) nur eine untergeordnete Rolle, da die Fluorophore mit ausreichender Lichtmenge angeregt werden.

[0004] Bei der Lumineszenz (Bio- oder Chemilumineszenz) hingegen, bei der die Photonen durch eine chemische Reaktion erzeugt werden, ist deren Anzahl deutlich begrenzt. Diese Systeme müssen auf das 'Einsammeln' aller vorhandenen Photonen und auf das 'detektiert werden' optimiert werden. Diese Systeme bestehen normalerweise aus optischen Systemen, z. B. Lichtwellenleitern, die direkt an der

Probe die Photonen aufnehmen und auf den Detektor weiterleiten.

[0005] Schwierigkeiten bestehen bei der "Time Resolved Fluorescence" (TRF). Hier wird mit einem Lichtblitz angeregt, eine kurze Zeit gewartet und dann die 'zeitverzögerte Fluoreszenz' gemessen. Man regt also hochenergetisch an und misst dann nur noch die spezifische Fluoreszenz und keine Hintergrundfluoreszenz aus der Probe oder aus den verwendeten Materialien des optischen Pfades. Fast jedes Material, besonders Kunststoffe, hat eine Phosphoreszenz, die zum Hintergrundsignal beiträgt.

[0006] Zur Messung der oben genannten BRET ist ein Filter vor dem Detektor notwendig, wobei die meisten Hersteller ihre Fluorometer für BRET verwenden. Allerdings wird die Photonenemission durch eine chemische Reaktion ausgelöst (Lumineszenz) und daher sind nur eine geringe Anzahl von Photonen vorhanden. Die Empfindlichkeit von Fluorometern ist daher nicht ausreichend.

[0007] Der Anregungslichtpfad für die Fluoreszenzmessung beginnt mit einer Lichtquelle, z. B. einer Halogenlampe oder einer Xenon-Blitzlampe, durch geeignete optische Bauelemente wird das Licht in ausreichender Intensität und Positionsgenauigkeit zur Probe gebracht.

[0008] Im Anregungslichtpfad ist mindestens ein optischer Filter enthalten, so dass nur Anregungslicht in einem meist eng begrenzten Wellenlängenbereich auf die Probe fällt.

[0009] Im Emissionslichtpfad wird das in der Probe erzeugte Fluoreszenzlicht zum Detektor gebracht und dort gemessen. Dazwischen wird an geeigneter Stelle ein optischer Filter als Emissionsfilter positioniert.

[0010] Grundsätzlich kann man bei dieser Ausführung eines Fluoreszenzmesspfades die Anregungs-Lichtquelle abschalten und dann auch Lumineszenz messen. Ein gravierender Nachteil einer derartigen, in manchen Multilabelreadern eingesetzten Anordnung ist jedoch deren geringe Empfindlichkeit bei der Messung von Lumineszenz, da nur ein geringer Anteil der von der Probe emittierten Photonen auf die Linse im Emissionslichtpfad fällt und somit den Detektor erreichen kann. Eine derartige Anordnung ist etwa eine Größenordnung weniger empfindlich als bei einem gut konstruierten Luminometer.

Stand der Technik

[0011] Aus der EP 0 803 724 A2 ist ein Mehrfachmessgerät bekannt, das die obengenannten Probleme nicht vermeidet, hauptsächlich, weil der dort für alle Messungen ausgelegte, verschiebbare Spiegel-

block keine hocheffiziente Lichtführung zur Detektion schwacher Lumineszenzsignale ermöglicht. Der von der Linse erfasste Raumwinkel des von der Probe abgestrahlten Lichts ist klein, so dass nur ein geringer Teil der ursprünglich ausgesendeten Photonen zum Detektor gelangt. Außerdem ist bei dieser Anordnung das Übersprechen von Proben in benachbarten Probenbehältern der Mikroplatte hoch. Dies führt zu falschen Messergebnissen, wenn eine stark leuchtende Probe neben einer schwach leuchtenden Probe so stark strahlt, dass an der schwach leuchtenden Probe ein zu hoher Wert gemessen wird.

[0012] In der EP 1 279 946 A1 ist eine Anordnung beschrieben, welche unabhängige optische Emissionslichtpfade für die einzelnen Messverfahren, also insbesondere Fluoreszenz und Lumineszenz, vorsieht, um diese Nachteile zu vermeiden.

[0013] Der Emissionslichtpfad für Lumineszenzmessung besteht hierbei im wesentlichen aus einem Block parallel geführter und miteinander verklebter Einzel-Lichtleiter, der Anregungslichtpfad und der Emissionslichtpfad für Fluoreszenzmessung entspricht dem eingangs erläuterten. Das Licht im Anregungslichtpfad fällt bei dieser Optik als konvergenter Lichtstrahl auf die Probe.

[0014] Der Detektor und die Fluoreszenz-anregende Strahlungsquelle sind beweglich und werden motorisch in die für die jeweilige Messung benötigte Position gebracht. Die Messposition der Probenbehälter innerhalb des Gerätes für die verschiedenen Arten von Messungen ist daher nicht fix, sondern ist durch die Messtechnik vorgegeben.

[0015] Wenn Reagenz-Injektion in die Messposition erforderlich ist, müssen unter Umständen an jedem optischen Pfad Injektionspositionen vorgesehen werden.

[0016] Mit dieser Anordnung erreicht man zwar gute Empfindlichkeitswerte, insbesondere für Lumineszenz, jedoch ist der konstruktive Aufwand gegenüber einer Ausführung mit nur einem einzigen optischen Emissionslichtpfad viel höher, insbesondere wenn man mehrere Pfade mit jeweils eigenen Injektoren versehen muss. Zusätzlicher Aufwand entsteht auch durch den Transportmechanismus für den Detektor, wobei die häufige Bewegung des hochempfindlichen Detektors auch das Risiko von Beschädigungen in sich trägt. Zudem muss in dieser Anordnung auch die Lichtquelle im Anregungslichtpfad verschiebbar sein.

[0017] In der US 6,891,681 B2 ist ein Messgerät beschrieben, bei dem über einen Lichtleiter das Anregungslicht durch eine Apertur in das Modul eingespeist wird und dort auf einen dichroischen Spiegel trifft, der das Licht über zwei außerhalb des Moduls positionierte Linsen auf die Probe lenkt. Das in der

Probe erzeugte Fluoreszenzlicht wird zurück über die beiden Linsen auf den dichroischen Spiegel gelenkt, durch welchen das längerwellige Licht hindurchtritt und auf einen dichroischen Strahlteiler gelangt. Dieser teilt das Licht in zwei Wellenlängenbereiche auf. Jeder der beiden so gebildeten Teilstrahlen verlässt das Modul durch je eine weitere Apertur, um schließlich über zwei Filter und entsprechende Linsen in zwei Detektoren getrennt gemessen zu werden.

[0018] Diese Optik hat zunächst den entscheidenden Nachteil, dass die beiden dichroischen Spiegel bzw. Strahlteiler nur durch entweder konvergente oder divergente Lichtstrahlen getroffen werden, während die beste Performance nur bei parallelem Lichteinfall erreicht wird.

[0019] Ein anderer wesentlicher Nachteil dieser Optik ist, dass sie nicht zur empfindlichen Messung von Chemilumineszenz geeignet ist. Für diesen Zweck wird ein optionaler Detektor benötigt, der das Licht über einen Lichtleiter direkt von der Probe empfängt. Auch dann ist es offensichtlich nicht möglich, Reagenzien in die Messposition zu injizieren. Ebenso wenig können in dieser Anordnung Chemilumineszmessungen mit Filtern, wie BRET oder Chroma-Glow, durchgeführt werden.

[0020] Aus diesen Beispielen wird ersichtlich, dass die Anforderungen an ein Mehrfach-Messsystem, um optimal zu arbeiten, sehr vielfältig sind. Aus Gründen der Optik, der geometrischen Abmessungen, der Verfügbarkeit von Linsen mit speziellem Material und gewissen Brechungsindizes, mussten, wenn ein mehr oder weniger gemeinsamer optischer Pfad verwendet werden soll, Kompromisse eingegangen werden, die zu einer hinsichtlich Spezialgeräten reduzierten Leistungsfähigkeit führen, oder es musste ein erhöhter Aufwand zur Etablierung individueller, für die jeweilige Messmethode optimierter Messlichtpfade getrieben werden.

Darstellung der Erfindung

[0021] Es ist Aufgabe der Erfindung, mit nur einem gemeinsamen (Emissions-)Lichtpfad sowohl für Fluoreszenz als auch für Lumineszenz mindestens die gleiche Empfindlichkeit zu erreichen wie mit spezialisierten Fluorometern und Luminometern.

[0022] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Schutzanspruchs 1 gelöst.

[0023] Der Grundgedanke der Erfindung ist darin zu sehen, dass die optische Ankopplung des Probenbehälters an den Detektor über ein erstes Reflektorelement mit einer innen verspiegelten Oberfläche erfolgt, das eine Reflexionskammer bildet, die eine Ausrichtung des aus der Oberfläche des Probenbehälters austretenden Lichts bewirkt. Diese Bünde-

lung kann in Abhängigkeit vom verwendeten Wellenlängenselektor eine im wesentlichen parallele Ausrichtung der emittierten Photonen sein, aber auch eine Konvergenzwirkung dergestalt beinhalten, dass eine Konzentrierung der Photonen auf einen definierten Flächenbereich in der Ebene des Wellenlängenselektor erfolgt.

[0024] Wesentliche Vorteile des gemeinsamen Emissionslichtpfades bestehen darin, dass ein einziger stationärer Detektor für Fluoreszenz- und Lumineszenzmessungen und eine stationäre Lichtquelle verwendet werden können.

[0025] Bei der bevorzugten Ausführungsform wird der Wellenlängenselektor von einem Emissionsfilter gebildet. In diesem Fall ist die verspiegelte Innenfläche der Reflexionskammer in Form eines Stumpfes eines Rotationsparaboloids ausgeführt. Dessen Brennpunkt liegt innerhalb oder in der nahen Umgebung des Probenbehälters.

[0026] Dadurch wird erreicht, dass das aus dem Probenbehälter emittierte Licht weitgehend parallel die Reflexionskammer verlässt und senkrecht auf den Emissionsfilter trifft. Dies ist vorteilhaft, weil die Filterwirkung insbesondere von Interferenzfiltern bei senkrechtem Strahlendurchgang am besten ist.

[0027] Der Paraboloidabschnitt kann in der Praxis auch durch aufeinandergesetzte Kegelstumpfabschnitte angenähert werden.

[0028] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform enthält der Anregungslichtpfad ein Reflektorelement in Form eines Umlenkspiegels, der das Anregungslicht im Wesentlichen senkrecht auf die Oberfläche der Probe wirft.

[0029] Dieser Umlenkspiegel wiederum ist vorzugsweise in einem lichtdichten Rohr gehalten, in dem das Anregungslight im Anregungslichtpfad geführt wird. Der Umlenkspiegel befindet sich auf einer lichtdichten Unterlage und unterteilt das lichtdichte Rohr in zwei Abschnitte, einen horizontalen Abschnitt zur Einführung des Anregungslights in die Reflexionskammer bis zum Umlenkspiegel, und einen an den Umlenkspiegel anschliessenden vertikalen Abschnitt zur Weiterleitung des umgelenkten Anregungslights zum Probenbehälter.

[0030] Die durchgehend lichtdicht ausgebildete Führung des Anregungslights im Reflexionsraum verhindert, dass Anregungslight unmittelbar zum Detektor gelangen kann und dort zu Verfälschungen der Messung führt.

[0031] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung sieht aus demselben Grund vor, dass die Bauteile zur Führung des Anregungslights im Reflexionsraum auf ih-

rer Aussenseite lichtabsorbierend ausgeführt sind.

[0032] Im Strahlengang des Anregungslichtpfads ist eine Fokussierlinse angeordnet, deren Brennpunkt derart gewählt ist, dass er vorzugsweise unterhalb des Brennpunkts des Paraboloids liegt; überraschenderweise lässt sich mit dieser Konstellation eine Maximierung der Lichtausbeute erzielen.

[0033] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung betrifft die konstruktive Ausbildung der Führung des Emissionslichts. Hier ist zwischen dem Emissionsfilter und dem Detektor eine Absorptionsfläche in Form eines Hohlzylinders vorgesehen, durch den sich eine Eliminierung von unerwünschten Anteilen des Emissionslichtstrahls erreichen lässt, die den Detektor nicht erreichen sollen.

[0034] Durch geeignete Wahl der Dimensionierung des Paraboloidabschnitts (oder der entsprechenden Kegelstümpfe) und der lichtführenden Bauteile im Bereich der Reflexionskammer kann eine Optimierung der erfindungsgemässen Messvorrichtung hinsichtlich des Einsatzes als Mehrfachmessgerät so weit erreicht werden, dass sich eine im Vergleich zur Messung der Fluoreszenz im Lumineszenzlichtpfad des genannten Geräts etwa 10-fach erhöhte Nachweisempfindlichkeit für Lumineszenz gegenüber dem Mehrfachmessgerät nach der EP 1 279 946 A1 erzielen lässt.

[0035] Auch für Fluoreszenz wird eine Signalstärke gemessen, die wegen der hohen optischen Effizienz im Emissionslichtpfad etwa zehnmal grösser als bei dem genannten Gerät ist. Allerdings steigt auch der Nulleffekt, so dass die Nachweisempfindlichkeit z. B. für FITC Messungen, wie sie sich aus dem 3-Sigma-Kriterium ergibt, effektiv noch über 100% höher liegt.

[0036] Bei speziellen Abwandlungen der Fluoreszenz-Messtechnik, wie sie weiter unten beschrieben werden, kommt die mit der erfindungsgemässen Vorrichtung erzielbare hohe optische Effizienz des Emissionslichtpfades stärker zum Tragen.

[0037] Bei BRET-Messungen erreicht man durch den bei der erfindungsgemässen Vorrichtung implizierten parallelen Einfall des Emissionslichts auf das Emissionsfilter eine gute spektrale Trennung. Außerdem wird infolge dieser Parallelisierung des Emissionslichts der Einsatz einer Linse überflüssig.

[0038] Wegen der hohen optischen Effizienz der Reflexionskammer kann auch Chemilumineszenz mit derselben Optik und demselben Detektor wie bei der Fluoreszenz gemessen werden, und zwar mit höchster Empfindlichkeit.

[0039] Injektion von Reagenzien in die Messpositi-

on ist möglich, außerdem können wellenlängenabhängige Chemilumineszenzmessungen durch Einbringen von Filtern in den optischen Pfad erfolgen.

[0040] Insbesondere dann, wenn die Reflexionskammer des ersten Reflektorelements paraboloidförmig ausgestaltet ist, wodurch das Licht, welches aus der Reflexionskammer austritt, im wesentlichen parallel gerichtet ist, weist eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung zwischen Austrittsöffnung des Reflektorelements und Eintrittsfenster des Detektors einen Abstandshalter derart auf, dass zwischen die Austrittsöffnung des Reflektorelements und das Eintrittsfenster des Detektors Module mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften einsetzbar sind.

[0041] Hierdurch wird ein modularer Aufbau erreicht, welcher im Laboreinsatz ein rationelles Arbeiten erleichtert.

[0042] Insbesondere zur Messung von BRET, FRET oder TR-FRET kann es vorteilhaft sein, mit zwei Detektoren bei Verwendung unterschiedlicher Emissionsfilter die Lichtintensität in zwei Wellenlängenbereichen gleichzeitig zu messen. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind deshalb oberhalb des Reflektorelements zwei Detektoren vorgesehen, deren optische Achsen (das sind die Flächennormale der Eintrittsfenster) schräg bezüglich der Oberflächen der sich in den Probenbehältern befindenden flüssigen Proben stehen. Hierdurch ergibt sich eine Reflexionskammer mit zwei Abschnitten, welche als Teilreflexionskammern bezeichnet werden können. Diese Teilreflexionskammern sind bevorzugt paraboloidförmig.

[0043] Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den weiteren Unteransprüchen sowie aus den nun mit Bezug auf die Figuren näher erläuterten Ausführungsbeispielen.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0044] Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Messvorrichtung werden anhand von Zeichnungen näher erläutert, es zeigen:

[0045] [Fig. 1](#): eine perspektivische Schnittdarstellung der Messvorrichtung,

[0046] [Fig. 2](#): eine perspektivische Gesamtdarstellung der Messvorrichtung nach [Fig. 1](#) ohne Probenbehälter, mit Injektionsvorrichtung und Lasermodul,

[0047] [Fig. 3](#): eine schematische Darstellung des Anregungslichtpfades bei Fluoreszenzmessungen,

[0048] [Fig. 4](#): eine Darstellung der Zuordnung der optischen Verhältnisse der beiden Reflektorelemen-

te,

[0049] [Fig. 5](#): eine perspektivische Schnittdarstellung der Führungsbauteile des Anregungslichtes in der Reflexionskammer,

[0050] [Fig. 6](#): schematische Darstellungen von Lichtstrahlen des Emissionslichtpfads in der Reflexionskammer,

[0051] [Fig. 7](#), [Fig. 8](#): Schnittdarstellungen durch die Messvorrichtung mit Injektionselement für Lumineszenzmessung und Lasermodul,

[0052] [Fig. 9](#): eine schematische Darstellung einer Ausgestaltung der Messvorrichtung für Fluoreszenz-Polarisationsmessungen,

[0053] [Fig. 10](#): eine Teilschnittdarstellung einer Ausgestaltung der Messvorrichtung für Fluoreszenzmessungen von unten, und

[0054] [Fig. 11](#): eine Schnittdarstellung einer Messvorrichtung mit mehreren Modulen,

[0055] [Fig. 12](#): ein erstes Modul in einer Schnittdarstellung,

[0056] [Fig. 13](#): ein zweites Modul in einer Schnittdarstellung,

[0057] [Fig. 14](#): eine weitere Ausführungsform der Erfindung in einer Schnittdarstellung,

[0058] [Fig. 15](#): eine weitere Ausführungsform der Erfindung in einer Schnittdarstellung,

[0059] [Fig. 16](#): eine Variation zur Ausführungsform der [Fig. 14](#),

[0060] [Fig. 17](#): eine Ausführungsform der Erfindung mit zwei Detektoren und

[0061] [Fig. 17B](#): ein Detail aus [Fig. 17](#).

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

[0062] Die [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) zeigen den konstruktiven Aufbau der Messvorrichtung, [Fig. 1](#) mit Mikrotiterplatte **10**, [Fig. 2](#) ohne Mikrotiterplatte mit einem Injektionselement und einem Lasermodul. Die wesentlichen Bauelemente sind folgende: Oberhalb der Mikrotiterplatte **10** mit ihren Probenbehältern **11** befindet sich ein erstes Reflektorelement **20**, dessen Aufbau im Einzelnen weiter unten noch erläutert wird. Die obere Öffnung dieses ersten Reflektorelements **20** reicht bis zu einem Emissionsfilter **30**, über dem in an sich bekannter Weise ein Detektor **40** zur Erfassung der aus dem Probenbehälter austretenden Photonen angeordnet ist. Vom Probenbehälter **11** zum

Detektor **40** führt somit der Emissionslichtpfad EF der von der im Probenbehälter **11** befindlichen Probe (nicht dargestellt) durch Fluoreszenz- oder Lumineszenz erzeugten Emissionsstrahlung.

[0063] Zwischen dem ersten Reflektorelement **20** und der Mikrotiterplatte **10** ist ein Blendenrad **12** gehalten, dessen Aufbau im wesentlichen der eingeschalteten EP 1 279 964 A1 entspricht und daher nicht näher erläutert wird.

[0064] Zur Messung von Fluoreszenz beinhaltet ein Anregungslichtpfad AF zunächst in an sich bekannter Weise eine Lichtquelle **50**, eine Blende **51**, eine Linse **52** und ein Anregungsfilter **53**. Diese Bauteile und deren Peripherie werden hier nicht näher erläutert.

[0065] Das Anregungslight gelangt in ein Rohr **58**, das in eine vom ersten Reflektorelement **20** gebildete Reflexionskammer R geführt ist, und wird dort so umgeleitet, dass es im wesentlichen senkrecht auf die Oberfläche der im Probenbehälter **11** befindlichen Probe auftrifft. Diesem Zweck dient ein zweites Reflektorelement, das im Rohr **58** gehalten ist, die Ausgestaltung dieses Bereichs wird weiter unten noch näher erläutert.

[0066] In [Fig. 3](#) ist der Strahlengang im Anregungslichtpfad AF mit den ihn erzeugenden optischen Baulementen schematisch dargestellt, wobei hier zusätzlich noch eine Referenzeinheit, bestehend aus Glasscheibe **55** und Referenzdetektor **56** dargestellt ist, die zur Regelung der Lichtintensität dient.

[0067] Eine Fokussierlinse **54** erzeugt aus dem durch die vorhergehenden optischen Elemente parallelisierten Lichtstrahl der Lichtquelle **50** einen schwach konvergenten Lichtstrahl. Hierbei ist die fokussierende Wirkung der Fokussierlinse **54** so bemessen, dass nach Umlenkung des Lichtstrahls durch das zweite Reflektorelement der Brennpunkt BP2 des Anregungslichtstrahles im Probenbehälter **11** zu liegen kommt. Wegen der endlichen Ausdehnung der Lichtquelle **50** und unvermeidlicher Toleranzen der weiteren optischen Bauteile im Anregungslichtpfad AF ist ein mathematisch exakter Brennpunkt nicht zu realisieren. Die Fluoreszenzanregung erfolgt folglich in dem vom Anregungslight durchmessenen Volumenbereich der im Probenbehälter **11** befindlichen Probe.

[0068] Die erfindungscharakteristischen Bauteile dieser Messvorrichtung, die Reflektorelemente und deren Aufbau und Zuordnung, sind in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) dargestellt:

Das erste Reflektorelement **20** besteht aus einem rotationssymmetrischen, zwischen Probenbehälter **11** und Emissionsfilter **30** angeordnetem Bauteil mit einem durchgehenden Kanal. Die Innenwandung **20A** dieses Kanals ist verspiegelt und weist die Form ei-

nes Stumpfes eines Rotationsparaboloids auf, dessen Schnittkurve der Parabel-Gleichung $y = n \cdot x^2$ genügt. Die Fortsetzung dieser Schnittkurve zur "vollständigen" Parabel ist in [Fig. 4](#) gestrichelt dargestellt. Diese Innenwandung **20A** bildet die Reflexionskammer R. In der Praxis weist der Faktor n der Parabel-Gleichung Werte zwischen 3 und 5 auf.

[0069] Der Brennpunkt BP1 dieser Parabel und damit der verspiegelten Innenwandung **20A** des ersten Reflektorelements **20** liegt unterhalb der unteren Öffnung des Reflektorelements **20** in einem Abstand a1 zum Boden **11A** des Probenbehälters **11**. Photonen, die im Bereich des Brennpunkts BP1 aus der Probe emittiert werden, werden daher (sofern sie die Innenwandung **20A** erreichen) in der Reflexionskammer R parallel gerichtet und gelangen somit im wesentlichen senkrecht auf die Oberfläche des Emissionsfilters **30**.

[0070] Das zur Einführung des Anregungslights im Anregungslichtpfad AF ([Fig. 5](#)) dienende Rohr **58** besteht aus einem ersten, horizontalen Abschnitt **58A** und einem an diesen knieförmig anschließenden, zweiten Abschnitt **58B**, dessen Längsachse koaxial zur Längsachse des Probenbehälters **11** liegt.

[0071] Als zweites Reflektorelement dient ein planer Spiegel **57**, der unter einem Winkel von jeweils 45° zur Längsachse des horizontalen/vertikalen Rohrabschnittes **58A**, **58B** liegt, so dass das Anregungslight vom ersten Rohrabschnitt **58A** in den zweiten Rohrabschnitt **58B** gespiegelt wird. Die dargestellte elliptische Form des Spiegels **57** entspricht dem Durchmesser der Rohrabschnitte und dem Winkel 45°, so dass sich dem Anregungslight ein kreisförmiger Spiegelquerschnitt präsentiert.

[0072] Wie oben erwähnt, bewirkt die Fokussierlinse **54** eine Konvergenz des Anregungslightstrahles derart, dass ein zweiter Brennpunkt BP2 gebildet wird, der in einem zweiten Abstand a2 zum Boden **11A** des Probenbehälters **11** zu liegen kommt, ebenfalls innerhalb der dort befindlichen Probe.

[0073] Die Differenz der Abstände a1 und a2 liegt bei der Verwendung handelsüblicher Mikrotiterplatten **10** und den darin eingebrachten Probengefäß **11** in der Größenordnung von etwa 2 mm.

[0074] Mit den geschilderten mechanischen und optischen Vorkehrungen ergibt sich ein Emissionslichtpfad EF, dessen Bestandteile in [Fig. 6](#) dargestellt sind, wobei vereinfachend davon ausgegangen wird, dass das Emissionslicht vom Brennpunkt BP1 ausgeht:

Ein erster Anteil EF1 ([Fig. 6A](#)) des Emissionslichtes scheidet für die Messung im Detektor **40** aus. Hierzu gehören Strahlen, die auf den Spiegel **57** treffen und in den Anregungslichtpfad AF zurückgeworfen wer-

den, zu diesem Anteil gehören aber auch Strahlen, die auf das Rohr **58** und die Halterung **59** des Spiegels **57** auftreffen und ebenfalls den Detektor **40** nicht erreichen können, da diese Bauteile zur Verhinderung von Streulicht auf ihrer Außenseite lichtabsorbierend ausgeführt sind.

[0075] Ein zweiter Teil EF2 (**Fig. 6B**) des Emissionslichts passiert einerseits Rohr **58** und Halterung **59**, andererseits aber auch die Innenwandung **20A** des Paraboloidabschnitts **20**, und fällt somit direkt unter einem durch die Größe dieser Bauelemente und deren Abstand zueinander definierbaren Winkel auf den Emissionsfilter **30** (**Fig. 6B**). Bei der dargestellten bevorzugten Ausführungsform bilden etwa 10% des Emissionslichtes diesen zweiten Anteil EF2.

[0076] Will man vermeiden, dass der zweite Anteil EF2 des Emissionslichtes den Detektor erreicht, so kann man oberhalb des Emissionsfilters **30** ein Absorptionselement in Form eines Hohlzylinders **31** mit einer Höhe **H** zwischen dem Austrittsquerschnitt des Emissionsfilters **30** und dem Eintrittsquerschnitt des Detektors **40** anordnen, dessen Innenseite Licht absorbierend (z. B. durch einen Überzug aus schwarzem Filz) ausgeführt ist. Alternativ kann auch der Durchmesser des Rohrabschnitts **58B** entsprechend grösser ausgeführt werden.

[0077] Ein dritter Aneil EF3 (**Fig. 6C**) des Emissionslichtes schließlich fällt auf die Innenwandung **20A** des Rotationsparaboloids **20** und wird demzufolge (je nach seiner "Herkunft" aus dem Bereich des Brennpunkts BP1) mehr oder weniger genau parallelisiert und senkrecht auf das Emissionsfilter **30** geworfen; dieser Anteil macht etwa 90% des auf den Emissionsfilter **30** fallenden Emissionslichtes aus.

[0078] Ein Lasermodul **60** und ein Injektionselement **61** sind in die Reflexionskammer R geführt und zielen in den Probenbehälter **11** (**Fig. 7** und **Fig. 8**).

[0079] Werden die optischen Bauteile des Anregungslichtpfads AF durch das Lasermodul **60** ersetzt, kann sog. Alpha-Screen durchgeführt werden, bei dem das Licht des Lasers unmittelbar oder über einen Lichtleiter, der sich innerhalb eines Führungsrohrs befindet, auf die Probe gebracht wird. Die Bestrahlung erfolgt jeweils für eine kurze Zeit, dann wird die Lichtquelle abgeschaltet und unmittelbar danach das aus der Probe emittierte Licht gemessen.

[0080] Das Injektionselement **61** erlaubt Lumineszenzmessungen, bei denen die Injektion von Reagenzien in der Messposition erfolgen muss.

[0081] Anstelle eines Lasermoduls kann wahlweise auch ein weiteres Injektionselement vorgesehen sein.

[0082] Ohne weitere Ausgestaltungen können unter Erzielung der beschriebenen Vorteile mit der erfindungsgemässen Messvorrichtung folgende Messverfahren durchgeführt werden:

Das FRET-Verfahren unterscheidet sich von der Standard-Fluoreszenzmessung dadurch, dass dieselbe Probe bei zwei unterschiedlichen Emissions-Wellenlängenbereichen gemessen wird.

[0083] Beim TRF-Verfahren wird zur Anregung eine gepulste Lichtquelle, üblicherweise eine Xenon-Blitzlampe, verwendet. Für jede Messung erfolgt eine Serie von Blitzen, nach jedem Blitz wird nach einer anfänglichen Zeitverzögerung in einem bestimmten Zeitfenster die Emissionsstrahlung gemessen. Hierdurch werden Störsignale durch Fluoreszenz mit kürzerer Abklingzeit, als sie die bei TRF verwendeten Markierungen haben, ausgeschaltet.

[0084] Das TR-FRET-Verfahren ist eine Kombination aus FRET und TRF derart, dass bei jeder Probe TRF bei zwei verschiedenen Emissions-Wellenlängen gemessen wird.

[0085] Zur Messung der Absorption befindet sich unter dem transparenten Boden eines Probenbehälters eine Fotodiode. Damit wird in bekannter Weise die Schwächung des durch den Anregungslichtpfad kommenden Lichts beim vertikalen Durchtritt durch die Probe gemessen.

[0086] Weitere Anwendungen und Ausbildungen der Erfindung werden nun anhand der **Fig. 9** und **Fig. 10** erläutert:

Bei Fluoreszenz-Polarisation wird die Probe von der Lichtquelle mit polarisiertem Licht bestrahlt (Anregungslichtpfad), im Emissionslichtpfad werden die Anteile bestimmt, die einerseits parallel, andererseits senkrecht zur Polarisationsrichtung des eingestrahlten Lichts der Lichtquelle polarisiert sind.

[0087] Dazu dient die in **Fig. 9** schematisch dargestellte Ausbildung der erfindungsgemässen Messvorrichtung:

Unmittelbar über der Probe befindet sich eine von zwei Polarisationsfilteranordnungen PF1, PF2, die nacheinander über die Probe positioniert und in Bezug auf die optische Achse des Emissionslichtpfades EP zentriert werden.

[0088] Die Polarisationsfilteranordnungen PF1, PF2 sind beim dargestellten Ausführungsbeispiel konstruktiv auf demselben Blendenrad **12** untergebracht, auf dem sich auch die verschiedenen Blendenöffnungen befinden.

[0089] In jeder dieser beiden Polarisationsfilteranordnungen PF1, PF2 befindet sich jeweils in der Mitte ein erstes, kreisförmiges Polarisationsfilter PF11, PF21, umgeben von einem zweiten, ringförmigen Po-

larisationsfilter PF12, PF22.

[0090] Bei der ersten Filteranordnung PF1 ist die Polarisationsrichtung der beiden Polarisationsfilter PF11, PF12 im inneren Kreis- und äußeren Ring-Bereich parallel, bei der zweiten Filteranordnung PF2 ist die Polarisationsrichtung der beiden Polarisationsfilter PF21, PF22 senkrecht zueinander (die Schraffur in [Fig. 9B](#) stellt die Polarisationsrichtungen dar).

[0091] Bei der in [Fig. 9A](#) gezeigten Position des Blendenrads **12** befindet sich die zweite Polarisationsfilteranordnung PF2 im Strahlengang.

[0092] Eine Anpassung der Dimensionierung der oben beschriebenen optischen Bauteile im Anregungslichtpfad AF an den Durchmesser der ersten Polarisationsfilter PF11, PF21 ist so vorgenommen, dass die Anregungsstrahlung (Pfeil nach unten) nur durch den ersten Polarisationsfilter PF11, PF21 in die Probe eintritt, und dass im Emissionslichtpfad EP vom austretenden Emissionslicht nur derjenige Teil gemessen wird (Pfeile nach oben), der durch den zweiten Polarisationsfilter PF12, PF22 austritt. Letzteres wird auch durch die vom vertikalen Abschnitt **58B** des Rohres **58** bewirkte Abschirmung erreicht, welche die unerwünschte, durch die ersten Polarisationsfilter PF11, PF21 austretende Strahlung am Erreichen des Emissionsfilters **30** und Detektors **40** hindert.

[0093] Zur Messung einer Probe werden nacheinander die beiden Polarisationsfilteranordnungen PF1, PF2 in die Messposition über die Probe gebracht, das Verhältnis der dabei gemessenen Intensitäten ergibt ein Maß für die Polarisation bzw. Depolarisation.

[0094] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ([Fig. 10](#)) dient zur Durchführung von Fluoreszenzmessungen von unten, die bei manchen Proben, z. B. Zellen, die am Boden einer Mikroplatte haften, durch den transparenten Boden einer Mikroplatte **10** hindurch erfolgt.

[0095] Der Anregungslichtpfad AP entspricht dem oben für Fluoreszenzmessungen erläuterten, jedoch trifft hier das Licht nicht direkt auf die Probe, sondern tritt zunächst in einen Lichtleiter **62** ein.

[0096] Der Lichtleiter **62** besteht aus einem inneren Lichtleiterbündel **62A**, das die Fortsetzung des Anregungslichtpfads AF zum Probenbehälter **11** darstellt, und einem dieses umgebende äusseren Lichtleiterbündel **62B**.

[0097] Vom Austrittsende des Lichtleiterbündels **62A** wird das Licht von unten in den Probenbehälter **11** gestrahlt. Das in der Probe entstehende Fluoreszenzlicht tritt, soweit es nach unten gerichtet ist, in

den Lichtleiter **62** ein und durchläuft dann die Reflexionskammer **20**, um schließlich auf den Emissionsfilter **30** und den Detektor **40** zu treffen.

[0098] Bei dieser Anordnung ist die Probe gegenüber der optischen Achse des Emissionslichtpfads EP in der Reflexionskammer R seitlich versetzt.

[0099] Der Lichtleiter **62** kann motorisch in eine nicht-aktive Position gebracht werden, um für eine Standard-Fluoreszenzmessung einer Mikroplatte von oben Platz zu machen.

[0100] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung betrifft den Bereich zwischen der oberen Austrittsöffnung des ersten Reflektorelements, welches z. B. als Rotationsparaboloid realisiert sein kann, und dem Detektor.

[0101] Es wurde bereits dargelegt, dass ein als EF2 bezeichneter Teil des Emissionslichtes ([Fig. 6B](#)) nicht in der erwünschten Weise parallel auf den Emissionsfilter fällt. Um diesen Anteil auszuschalten, der bei Fluoreszenzmessungen zu einer Erhöhung der Störsignale führt, kann wie bereits ausgeführt, zwischen Emissionsfilter und Detektor ein Absorptionselement in Form eines Hohlzylinders, dessen Innenflächen lichtabsorbierend ausgeführt wird, angeordnet werden. Diese Anordnung ist allerdings nur bei Fluoreszenzmessungen vorteilhaft, während bei Messungen der Bio- und Chemilumineszenz der Strahlungsanteil EF2 zur Nutzstrahlung gehört und daher nicht absorbiert werden soll.

[0102] Bei bestimmten Formen der Fluoreszenzmessung, insbesondere TR-FRET, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, oberhalb des Emissionsfilters eine Linse anzubringen, welche das Emissionslicht auf den Detektor hin konvergierend leitet und unter Umständen auf den Bereich der Detektoreintrittsfläche fokussiert. Je nach Messaufgabe werden dann noch verschiedene Eintrittsblenden vor den Detektor platziert.

[0103] Erfindungsgemäß befinden sich zwischen der oberen Austrittsöffnung des ersten Reflektors und dem Detektor austauschbare Module, die je nach Messaufgabe in den optischen Pfad gebracht werden.

[0104] Eine bevorzugte Ausführungsform zeigt [Abb. 11](#). In einem liegenden U-Bügel sind zwei Öffnungen. Die erste Öffnung **63a** erlaubt den Eintritt des Lichtes aus der Reflexionskammer R, die andere ist die Austrittsöffnung **68** zum Detektor **70**. In den durch den U-Bügel umgrenzten Raum wird das jeweils ausgewählte Modul positioniert. Die einzelnen Module, z. B. **71** und **72**, sind auf einer Trägerschiene **73** montiert, wo sie mit zwei Schrauben **74** fixiert sind.

[0105] Die Schiene mit den daran befestigten Modulen ist ihrerseits an einer (nicht abgebildeten) Linearführung fixiert.

[0106] Durch einen Motor (nicht abgebildet) wird über ein Antriebsrad **75** ein Zahnriemen **76** bewegt, an den die Trägerschiene angekoppelt ist.

[0107] Zwischen der Austrittsöffnung aus der Reflexionskammer und der Eintrittsöffnung in den U-Bügel befindet sich der Filterschieber **77**.

[0108] Die Trägerschiene ist so ausgerichtet, dass jedes daran montierte Modul in die erforderliche Position im Emissionslichtpfad gebracht werden kann.

[0109] Die Trägerschiene kann mit Hilfe ihres Antriebs die Module nach Öffnen einer lichtdichten Türklappe aus dem Gerät herausfahren, so dass der Benutzer die Modulbestückung ändern oder überprüfen kann. Zur Identifikation der Module können diese mit einem Barcode-Label oder einem Radio-Frequency-Identification (RFID) Modul versehen sein.

[0110] Im einfachsten Falle ist das Gerät mit nur einem optischen Modul bestückt. Die Module und der Transportmechanismus sind so konstruiert, dass unterschiedliche Module schnell, d. h. in weniger als 0,5 Sekunden in den Emissionslichtpfad gebracht werden können. Dies erlaubt, dass dieselbe Probe, bzw. dieselbe Mikroplatte mit verschiedenen optischen Verfahren gemessen werden kann.

[0111] Alle Module haben gleiche Außenabmessungen und die äußere Form von Quadern, wozu noch identische Teile zum Befestigen der Module an der Schiene kommen, so dass sie leicht ausgetauscht werden können.

[0112] Im Folgenden wird der Aufbau einzelner Module im Detail beschrieben.

[0113] [Fig. 12](#) zeigt ein Modul zur Messung sowohl der prompten als auch der zeitaufgelösten Fluoreszenz. Dazu wird im Filterschieber **77** ein geeigneter Filter ausgewählt. Eine im Modul befindliche Linke fokussiert das Licht auf den empfindlichen Teil des Detektors.

[0114] Es hat sich gezeigt, dass der optimale Durchmesser der Blende vor dem Detektor je nach Anwendung verschieden ist. Daher werden verschiedene Module mit jeweils unterschiedlichen Blendenformen vorgesehen.

[0115] [Fig. 13](#) zeigt ein Modul zur Standard-Lumineszenzmessung ohne Filter und enthält nur ein innen verspiegeltes Rohrstück **85**, so dass möglichst viel Licht in Richtung zum Detektor transportiert wird.

[0116] Solange der optische Teil der einzelnen Module im wesentlichen unverändert bleibt, können als kostengünstige Alternative die unterschiedlichen optischen Konstruktionen die als Zwischenoptik bezeichnet werden sollen, auch in einem einzigen, also nicht-modularen Schieber oder Rad untergebracht werden. Dieser Schieber läuft oberhalb des Filterschiebers und erlaubt eine beliebige Kombination von optischem Filter und Zwischenoptik.

[0117] Der erfindungsgemäße Geräteaufbau mit Modulen unterscheidet sich in wesentlichen Aspekten von anderen bekannten Konzepten.

[0118] In USP 6,891,681 B2 wird entsprechend [Fig. 2](#) über einen Lichtleiter das Anregungslicht durch eine Apertur in das Modul eingespeist und trifft auf einen dichroischen Spiegel, der das Licht über zwei ausserhalb des Moduls positionierte Linsen auf die Probe lenkt. Das in der Probe erzeugte Fluoreszenzlicht wird zurück über die beiden Linsen auf den dichroischen Spiegel gelenkt, durch welchen das längerwellige Licht hindurchtritt und auf einen dichroischen Strahlteiler gelangt.

[0119] Dieser teilt das Licht in zwei Wellenlängenbereiche auf. Jeder der beiden so gebildeten Teilstrahlen verlässt das Modul durch je eine weitere Apertur, um schließlich über zwei Filter und entsprechende Linsen in zwei Detektoren getrennt gemessen zu werden.

[0120] Diese Optik hat zunächst den entscheidenden Nachteil, dass die beiden dichroischen Spiegel bzw. Strahlteiler nur durch entweder konvergente oder divergente Lichtstrahlen getroffen werden, während die beste Performance nur bei parallelem Lichteinfall erreicht wird.

[0121] Ein anderer wesentlicher Nachteil dieser Optik ist, dass sie nicht zur empfindlichen Messung von Chemilumineszenz geeignet ist. Für diesen Zweck wird ein optionaler Detektor **323c, 331c** benötigt, der das Licht über einen Lichtleiter direkt von der Probe empfängt. Auch dann ist es offensichtlich nicht möglich, Reagenzien in die Messposition zu injizieren. Ebenso wenig können in dieser Anordnung Chemilumineszmessungen mit Filtern, wie BRET oder Chroma-Glow, durchgeführt werden.

[0122] Die erfindungsgemäße Anordnung vermeidet diese Nachteile und hat darüber hinaus weitere Vorteile.

[0123] Zunächst ist der Spiegel, der das Anregungslicht zur Probe lenkt, nicht Bestandteil eines Moduls, weil mit der Erfindung eine universell brauchbare Anordnung gefunden wurde, die nicht entsprechend dem gewählten Messprinzip jeweils geändert werden muss. Daher müssen diese Funktionen nicht wieder

in jedem Modul enthalten sein, wodurch diese einfacher, kleiner und billiger werden. Wegen der hohen optischen Effizienz der Reflexionskammer kann auch Chemilumineszenz mit derselben Optik und demselben Detektor wie bei der Fluoreszenz gemessen werden, und zwar mit höchster Empfindlichkeit.

[0124] Injektion von Reagenzien in die Messposition ist möglich, außerdem können wellenlängenabhängige Chemilumineszenzmessungen durch Einbringen von Filtern in den optischen Pfad erfolgen.

[0125] Da die Strahlung nicht durch Aperturen in das Modul eintritt, wird auch die mechanische Justierung unkritischer, was bei austauschbaren Modulen wichtig ist.

[0126] Beim erfindungsgemäßen Aufbau werden auch keine am Modul befindlichen Aperturöffnungen zur Einstellung des Durchmessers des auf die Probe treffenden Lichtstrahles verwendet, da hierzu das direkt über der Probe befindliche Blendenrad 12 dient, welches Blenden mit unterschiedlichen Durchmessern und Formen enthält.

[0127] Um maximale Flexibilität bei der Auswahl der zu messenden Wellenlängen zu erhalten, können Geräte auch mit Monochromatoren ausgerüstet werden. Mit diesen können über weite Spektralbereiche die gewünschten Wellenlängen ausgewählt werden. Zur optimalen Unterdrückung nicht erwünschter Wellenlängen werden Doppelmonochromatoren verwendet, von denen sich einer im Anregungslichtpfad, ein zweiter im Emissionslichtpfad befindet.

[0128] Allerdings haben Monochromatoren gegenüber Filtern auch Nachteile, da sie in einigen Spektralbereichen zu deutlich niedrigeren Nachweisempfindlichkeiten bei Multi-Label-Readern führen. Aus diesem Grunde wird gewünscht, dass in einem einzigen Gerät wahlweise mit Filtern oder mit Monochromatoren gemessen werden kann, wobei die Umschaltung zwischen den beiden Betriebsarten so einfach wie möglich sein soll.

[0129] Zur Messung mit Monochromatoren eignet sich zum Lichttransport in die Reflexionskammer die in [Abb. 14](#) gezeigte Anordnung mit einem Lichtleiter 110 und einem Emitterkopf 111. Das Ende des Lichtleiters 112 wird in einer Buchse fixiert. Das austretende divergente Licht wird durch eine oder zwei ebenfalls im Emitterkopf fixierte Linsen auf einen Brennpunkt fokussiert, der z. B. in der Probe liegt. Der Emitterkopf wird über ein Verbindungsstück 113 mit einer Haltevorrichtung 114 verbunden. In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann die Haltevorrichtung und damit der Emitterkopf in der Achse der Reflexionskammer bewegt und unterschiedlich positioniert werden, wodurch sich der Brennpunkt in gleicher Weise ändert. Dies erlaubt eine Anpassung an

unterschiedliche Formate und Füllgrade von Mikroplatten.

[0130] Auch ist für die Messung der Lichtabsorption mit einem unter dem transparenten Boden einer Mikroplatte positionierten Detektor eine ganz andere Fokusposition erforderlich als bei einer Fluoreszenzmessung.

[0131] Der Brennpunkt kann auch oberhalb der Probe positioniert werden, so dass darunter ein divergentes Lichtbündel entsteht. Dies kann wünschenswert sein, um die gesamte Bodenfläche eines Probenäpfchens mit Anregungslicht zu bestrahlen.

[0132] Die Einbringung des Anregungslichtes in die Reflexionskammer mit einem Lichtleiter ist zweckmäßig, wenn im Anregungspfad ein Monochromator benutzt wird und der Lichtleiter das Licht direkt vom Ausgang des Monochromators in den Emitterkopf bringt. Der Lichtleiter kann durch entsprechende Anordnung der Fasern gleichzeitig dazu dienen, das rechteckige Profil des Lichts am Austrittsspalt des Monochromators in ein rundes Profil am Ende des Lichtleiters im Emitterkopf zu wandeln.

[0133] Wenn das Licht im Emissionspfad wiederum einem Monochromator zugeführt werden soll, so ist die Ausführung der Reflexionskammer als Teil eines innen verspiegelten Rotationsellipsoids zweckmäßig, das die von der Probe emittierte Strahlung auf einen Lichtleiter fokussiert.

[0134] Die Reflexionskammer kann auch ein Rotationsparaboloid sein, wobei das aus der oberen Öffnung austretende, im Wesentlichen parallele Licht mit einer Linse (116) auf den Eintrittsquerschnitt des Lichtleiters (117) fokussiert wird. Dieser Lichtleiter kann am Eingang einen runden und am Ausgang, also vor dem Eintrittsspalt, einen rechteckigen Querschnitt haben, der dem Eintrittsspalt des Emissions-Monochromators entspricht.

[0135] Die hier beschriebene Anordnung mit Lichtleiter und Emitterkopf ist nicht auf die Verwendung von Monochromatoren begrenzt. Der Lichtleiter im Anregungspfad kann das Licht auch nach Durchgang durch Filter und entsprechende Fokussierung auf seinen Eingangsquerschnitt, der in diesem Falle rund sein könnte, in die Reflexionskammer bringen.

[0136] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das Anregungslicht bis unmittelbar über die Probe nach außen vollständig abgeschirmt geführt. Dafür sind mehrere Realisierungen möglich: Die [Fig. 15](#) zeigt eine erste Ausgestaltung. Bei der Verwendung eines abgeschirmten Umlenkspiegels 57 wird die seitliche Abschirmung des Anregungslichts zwischen Umlenkspiegel 57 und Probe fortgesetzt und zwar im wesentlichen in Form eines Rohres

118, welches sich nach unten verengt, um möglichst wenig Emissionslicht zu verlieren. Kurz über der Probe kann sich noch eine fokussierende Linse befinden, um einen besonders schlanken Anregungsstrahl von weniger als 1 mm Durchmesser zu erreichen.

[0137] Wird das Anregungslicht durch einen Lichtleiter zur Probe gebracht, so kann, wie in [Fig. 16](#) gezeigt, von der direkt über der Probe befindlichen Linse ein nach unten zulaufendes Abschirmrohr **119** bis unmittelbar über die Probe verlaufen.

[0138] In beiden Versionen stellt die über der Probe gelegene Lichtaustrittsöffnung gleichzeitig eine Blende dar, bei welcher sichergestellt ist, dass die innen auflaufende Streustrahlung nicht in den Emissionsstrahlengang gelangen und eine Erhöhung der Hintergrundstrahlung verursachen kann. Die innere und äußere Oberfläche des Rohres **118** beziehungsweise des Abschirmrohrs **119** ist zweckmässigerweise lichtabsorbierend ausgeführt.

[0139] Der Bereich der Abschirmung zwischen der sich über der Probe befindlichen Linse und der Probe kann modular gestaltet sein, wobei diverse auf einem Schieber oder einer Scheibe **150** befindliche Blendepteile mit unterschiedlichen Austrittsöffnungen **150a**, **150b** oder verschiedenen optischen Komponenten gegeneinander ausgetauscht werden können. Ein Beispiel ist eine Anordnung zur Messung von Fluoreszenzpolarisation. Es handelt sich um eine Variante der zuvor beschriebenen und in [Fig. 9](#) dargestellten Anordnung derart, dass der gesamte Anregungsweg bis unmittelbar zum zentralen kreisförmigen Polarisationsfilter abgeschirmt ist. Mit Hilfe des Schiebers bzw. der Scheibe werden die beiden Filterkonfigurationen nacheinander in Position gebracht.

[0140] Bei einer Reihe von Messverfahren, wie z. B. BRET, FRET oder TR-FRET ist es erforderlich, dass aus derselben Probe die Intensität des emittierten Lichtes in zwei unterschiedlichen Wellenlängenbereichen gemessen wird. Üblicherweise werden dazu nacheinander zwei Messungen mit unterschiedlichen optischen Filtern vorgenommen.

[0141] Die [Fig. 17](#) und [Fig. 17B](#) zeigen eine weitere Ausführungsform der Erfindung, welche insbesondere zum Einsatz bei BRET, FRET oder TR-FRET geeignet ist. Um schnelleren Probendurchsatz und, in vielen Fällen, höhere Genauigkeit zu erreichen, ist es wünschenswert, dass die Intensitätsmessungen in den beiden Wellenlängenbereichen gleichzeitig erfolgen. Zu diesem Zweck wird die erfindungsgemäße Reflexionskammer so ausgebildet, dass zwei Detektoren gleichzeitig das von der Probe emittierte Licht erfassen können, wobei jedem der Detektoren ein anderer optischer Filter zugeordnet werden kann. Bei der in [Fig. 17](#) gezeigten Ausführungsform ist die Re-

flexionskammer als Zwillingskammer mit zwei Teilbereichen **121**, **122** angelegt. In jedem Teilbereich ist eine Öffnung **123**, **124** für den Lichtaustritt zum Filter **125**, **126** und Detektor **127**, **128**.

[0142] Dabei bilden sich zusätzlich zur vertikal durch die Probe verlaufenden optischen Hauptachse **129** zwei Nebenachsen **130**, **131**, die jeweils von der Probe durch das Zentrum des jeweiligen Filters verlaufen und senkrecht zu diesen stehen, sodass sich alle drei Achsen im Bereich der Probe treffen. Jeder der beiden Teilbereiche kann z. B. die Form eines Rotationsparaboloids um die betreffende Nebenachse haben, wobei sich die beiden Paraboloiden teilweise überschneiden. Der Neigungswinkel der Nebenachsen gegenüber der Hauptachse soll weniger als 45° betragen.

[0143] Die zwischen der oberen Austrittsöffnung jedes Paraboloids und dem jeweiligen Detektor befindlichen Filter sind auf einem Filterschieber oder Filterrad montiert, sodass unterschiedliche Filter oder auch Leerpositionen jederzeit gegeneinander ausgetauscht werden können.

[0144] Der Anregungsweg beginnt am oberen Teil der optischen Hauptachse **129** mit der Lichtquelle **132**, sodass das Licht von oben nach unten zur Probe geführt wird. Durch eine erste Linsenkonstruktion **133** wird das Licht zuerst parallelisiert, durchtritt dann ein Anregungsfilter **134** und wird schließlich durch eine Linse (**135**) oder mehrere Linsen auf den Bereich der Probe fokussiert. Um Streulicht zu vermeiden, läuft das Anregungslight den größtmöglichen Teil seines Weges in einem Abschirmrohr **136**.

[0145] Das Anregungslight kann auch von einem Monochromator im Anregungspfad kommen, in diesem Falle ist die in [Abb. 16](#) gezeigte Anordnung eines mit Fokussierlinsen kombinierten Lichtleiters geeignet.

[0146] Die Detektoren können entweder direkt hinter den Emissionsfiltern stehen oder es werden noch weitere optische Komponenten wie z. B. Reflektoren, Linsen oder Blenden zwischen Filter und Detektoren positioniert.

[0147] Für Standard-Lumineszenzmessungen, bei denen keine Filter benötigt werden, können die Signale beider Detektoren addiert werden, um maximale Empfindlichkeit zu erreichen. Wenn die beiden Detektoren schnelle Photon-Counter sind, können sie auch mit einer Koinzidenzschaltung betrieben werden, um als Szintillationszähler Radioaktivitätsmessungen mit höchster Empfindlichkeit zu erlauben.

Bezugszeichenliste

AF	Anregungslichtpfad
EF	Emissionslichtpfad
R	Reflexionskammer
10	Mikrotiterplatte
11	Probenbehälter
12	Blendenrad
20, 21	erstes Reflektorelement
20A, 21A	Innenwandung
BP1, BP2, BP3	Brennpunkte
30	Emissionsfilter
31	Hohlzylinder
40	Detektor
50	Lichtquelle
51	Blende
52	Linse
53	Anregungsfilter
54	Fokussierlinse
a1	erster Abstand
a2	zweiter Abstand
55	Spiegel
56	Referenzdetektor
57	Umlenkspiegel
58	Rohr
58A	horizontaler Abschnitt
58B	vertikaler Abschnitt
59	Halterung
60	Lasерmodul
61	Injectionselement
62	Lichtleiter
62A	inneres Lichtleiterbündel
62B	äußeres Lichtleiterbündel
63	U-Bügel
63a	erste Öffnung
70	Detektor
71,72	Modul
73	Trägerschiene
74	Schraube
75	Antriebsrad
76	Zahnriemen
77	Filterschieber
110	Lichtleiter
111	Emitterkopf
112	Ende des Lichtleiters
113	Verbindungsstück
114	Haltevorrichtung
116	Linse
118	Rohr
119	Abschirmrohr
121, 122	Teilbereich der Reflexionskammer
123, 124	Öffnung
125, 126	Filter
127, 128	Detektor
129	Hauptachse
130, 131	Nebenachse
150	Scheibe
150a, 150b	Austrittsöffnung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 0803724 A2 [[0011](#)]
- EP 1279946 A1 [[0012](#), [0034](#)]
- US 6891681 B2 [[0017](#), [0118](#)]
- EP 1279964 A1 [[0063](#)]

Schutzansprüche

1. Vorrichtung zur wahlweisen Messung von insbesondere Lumineszenz- und/oder Fluoreszenzstrahlung aus mindestens einem Probenbehälter (11) mittels mindestens einer Lichtquelle (50) im Anregungslichtpfad (AF) für Fluoreszenzmessungen und mindestens einem Detektor (40) mit einem Wellenlängenselektor im Emissionslichtpfad (EF), dadurch gekennzeichnet, dass der Emissionslichtpfad (EF) zwischen dem zumindest einen Probenbehälter (11) und dem Wellenlängenselektor durch mindestens ein erstes, eine Reflexionskammer (R) umschliessendes Reflektorelement (20) geführt ist, das zumindest einen Teil des vom Probenbehälter (11) emittierten Lichts gerichtet auf den Wellenlängenselektor wirft, und dass der Anregungslichtpfad (AF) in der Reflexionskammer (R) bis oberhalb des Probenbehälters (11) geführt ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Wellenlängenselektor ein Emissionsfilter (30) ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionskammer (R) des ersten Reflektorelements (20) eine verspiegelte Innenwandung (20A) aufweist, die die Form eines Abschnitts eines Rotationsparaboloids mit einer Schnittkurve der Gleichung $y = n \text{ mal } x^2$ hat, der sich im Wesentlichen vom Probenbehälter (11) bis zum Emissionsfilter (30) erstreckt, wobei der Brennpunkt (BP1) des Rotationsparaboloids vorzugsweise innerhalb des Probenbehälters (11) zu liegen kommt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert von n zwischen 3 und 5 liegt.

5. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionskammer (R) von der Innenwandung von aneinander anschließenden Kegelstümpfen gebildet ist, die sich im wesentlichen vom Probenbehälter (11) bis zum Emissionsfilter (30) erstrecken, und deren Schnittkurven die Schnittkurve eines Rotationsparaboloids approximieren, dessen Brennpunkt vorzugsweise innerhalb des Probenbehälters zu liegen kommt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Anregungslichtpfad (AF) in der Reflexionskammer (R) ein zweites Reflektorelement enthält, das das Anregungslicht im Wesentlichen senkrecht auf die Oberfläche der Probe führt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Anregungslichtpfad (AF) innerhalb der Reflexionskammer (R) lichtdicht in einem Rohr (58) geführt ist, dessen Oberfläche lichtabsorbierend ausgeführt ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohr (58) zwei Abschnitte (58A, 58B) aufweist, die in der Reflexionskammer (R) gegeneinander um 90° abgewinkelt sind, wobei die Längsachse des unteren, vertikalen Abschnitts (58B) vorzugsweise in der Achse des Paraboloidabschnitts zu liegen kommt.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Reflektorelement ein planer Umlenkspiegel (57) ist, der im Rohr (28) derart positioniert ist, dass er das Anregungslicht vom ersten, horizontalen Abschnitt (58A) in den zweiten vertikalen Abschnitt (58B) des Rohres (58) reflektiert.

10. Vorrichtung nach Anspruch 7–9, dadurch gekennzeichnet, dass der vertikale Abschnitt (58B) des Rohrs (58) derart in der Reflexionskammer (R) angeordnet und dimensioniert ist, dass seine lichtabsorbierende Oberfläche denjenigen Teil des Emissionslichtes, der in einem unerwünschten Winkelbereich (alpha) aus dem Probenbehälter (11) austritt, absorbiert.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Anregungslichtpfad (AF) eine Fokussierlinse (54) angeordnet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennpunkt (BP1) des Rotationsparaboloids in einem ersten Abstand (a1) zum Boden (11A) des Probengefäßes (11) zu liegen kommt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennpunkt (BP2) der Fokussierlinse (54) so gewählt ist, dass er in einem zweiten Abstand (a2) zum Boden (11A) des Probengefäßes (11) innerhalb des Probengefäßes (11) zu liegen kommt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 und 13, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Abstand (a1) grösser ist als der zweite Abstand (a2).

15. Vorrichtung nach 14, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Verwendung von handelsüblichen Mikrotiterplatten als Probengefäß die Abstands differenz (a1–a2) etwa 2 mm beträgt.

16. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Reflektorelement (20) im Abstand vom Detektor (40) endet.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Emissionsfilter (30) und dem Detektor (40) ein Hohlzylinder (31) angeordnet ist, dessen Innenwandung denjenigen Teil der Emissionsstrahlung, der nicht auf die Innenwan-

dung (**20A**) des Rotationsparaboloids (**20**) auftrifft und somit nicht gerichtet verläuft, absorbiert.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenwandung des Hohlzyinders (**31**) aus schwarzem Filz besteht.

19. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenwandung des Hohlzyinders (**31**) mehrfach reflektierende Rillen aufweist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe (H) des Hohlzyinders (**31**) 10 bis 20 mm beträgt.

21. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Reflektorelement (**20**) ein Lasermodul (**60**) zur Einstrahlung von Licht in die Probe in den Probenbehälter (**11**) zeigend gehalten ist.

22. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, im ersten Reflektorelement (**20**) mindestens ein Injektionselement (**61**) zur Einbringung von Reagenzien in die Probe in den Probenbehälter (**11**) zeigend gehalten ist.

23. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem unteren Ende der Reflexionskammer (R) und dem Probenbehälter (**11**) eine Haltevorrichtung für optische Elemente dreh- oder verschiebbar gelagert ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Elemente mindestens zwei Polarisationsfilteranordnungen beinhalten.

25. Vorrichtung nach Anspruch 23 und 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Haltevorrichtung ein Blendenrad (**12**) ist, in dem verschiedene Blenden und die Polarisationsfilteranordnungen derart aufgenommen sind, dass jeweils eines der optischen Elemente in den Strahlengang bringbar ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Polarisationsfilteranordnungen (PF1, PF2) vorgesehen sind, die jeweils in ihrer Mitte ein erstes, kreisförmiges Polarisationsfilter (PF11, PF21) und ein dieses umgebendes zweites, ringförmiges Polarisationsfilter (PF12, PF22) aufweisen, wobei die Polarisationsrichtungen der Polarisationsfilter der ersten Polarisationsfilteranordnung (PF1) parallel sind, und die der zweiten Polarisationsfilteranordnung (PF2) senkrecht zueinander stehen.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Bauteile des Anregungslichtpfades (AF) und die Abmessungen der Polarisationsfilter derart aneinander angepasst sind, dass die Anregungsstrahlung nur durch den ersten Polarisations-

filter (PF11, PF21) in die Probe eintritt, und dass im Emissionslichtpfad (EF) vom austretenden Licht nur der den zweiten Polarisationsfilter (PF12, PF22) passierende Anteil den Detektor (**40**) erreicht.

28. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich zwischen dem unteren Ende der Reflexionskammer (R) und dem transparenten Boden eines Probenbehälters (**11**) ein Lichtleiter (**62**) befindet, in dem das Anregungslicht und das Emissionslicht geführt sind.

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtleiter (**62**) aus einem inneren Lichtleiterbündel (**62A**) und einem dieses umgebenden, äußeren Lichtleiterbündel (**62B**) besteht.

30. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Emissionslichtpfad (EF) jenseits der Reflexionskammer (R) wenigstens zwei Detektoren (**127, 128**) mit jeweils mindestens einem Eintrittsfenster angeordnet sind.

31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionskammer zwei Teilbereiche (**121, 122**) aufweist.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilbereiche (**121, 122**) paraboloidförmig ausgestaltet sind.

33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Flächennormalen (Nebenachsen **130, 131**) der Eintrittsfenster der beiden Detektoren jeweils schräg zur Oberfläche der Probe stehen.

34. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass der Anregungslichtpfad (AF) zwischen den beiden Detektoren verläuft und im wesentlichen senkrecht zur Oberfläche der Probe steht, so dass er in der Reflexionskammer (R) nicht umgelenkt wird.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass in den Raum zwischen dem Eintrittsfenster des Detektors (**70**) und der Austrittsöffnung der Reflexionskammer (R) mindestens ein Modul (**71, 72**) mit einer Modul-Eintrittsöffnung und wenigstens einer Modul-Austrittsöffnung zur lichtdichten Verbindung der Austrittsöffnung der Reflexionskammer (R) mit dem Eintrittsfenster des Detektors (**70**) anordenbar ist.

36. Vorrichtung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zwei Module (**71, 72**) vorhanden sind, welche alternativ in den Raum zwischen dem Eintrittsfenster des Detektors und der Austrittsöffnung der Reflexionskammer (R) einbringbar sind.

37. Vorrichtung nach Anspruch 35 oder Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass die Module (71, 72), jedoch mindestens eines, an einer beweglichen Trägerschiene (73) gehalten sind.

38. Vorrichtung nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass die Module (71, 72) auswechselbar an der Trägerschiene (73) gehalten sind.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 38, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor (70) an einem oberen Schenkel eines liegenden U-Bügels (63) gehalten ist, dessen gegenüberliegender unterer Schenkel mit dem Reflektorelement verbunden ist, wobei oberer und unterer Schenkel des U-Bügels eine Durchbrechung aufweisen, welche dem Eintrittsfenster beziehungsweise der Austrittsöffnung zugeordnet sind.

40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Anregungslicht mittels eines Lichtleiters (110) in die Reflexionskammer (R) eingebracht wird.

41. Vorrichtung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass das Ende (112) des Lichtleiters (110) an einem Emitterkopf (111) in der Reflexionskammer (R) gehalten ist.

42. Vorrichtung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass der Anfang des Lichtleiters (110) das Licht direkt vom Ausgang eines Monochromators im Anregungspfad empfängt.

43. Vorrichtung nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass der Emitterkopf (111) in Richtung des Probenbehälters (11) axial beweglich angeordnet ist.

44. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 41 oder 43, dadurch gekennzeichnet, dass der Emitterkopf weiterhin wenigstens eine Linse trägt.

45. Vorrichtung nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass sich vom Emitterkopf ein konisch auf die Probe zulaufendes Abschirmrohr (119) erstreckt.

46. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Reflexionskammer (R) austretendes Emissionslicht einem Monochromator zugeführt wird.

47. Vorrichtung nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, dass das Emissionslicht über einen Lichtleiter (117) dem Monochromator zugeführt wird.

48. Vorrichtung nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Reflexionskammer und Lichtleiter (117) eine Sammellinse vorgesehen ist,

die das Licht auf den Eintrittsquerschnitt des Lichtleiters fokussiert.

49. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Anregungspfad (AF) ein Monochromator vorgesehen ist.

50. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 46 bis 49, dadurch gekennzeichnet, dass die verwendeten Monochromatoren Doppelmonochromatoren sind.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

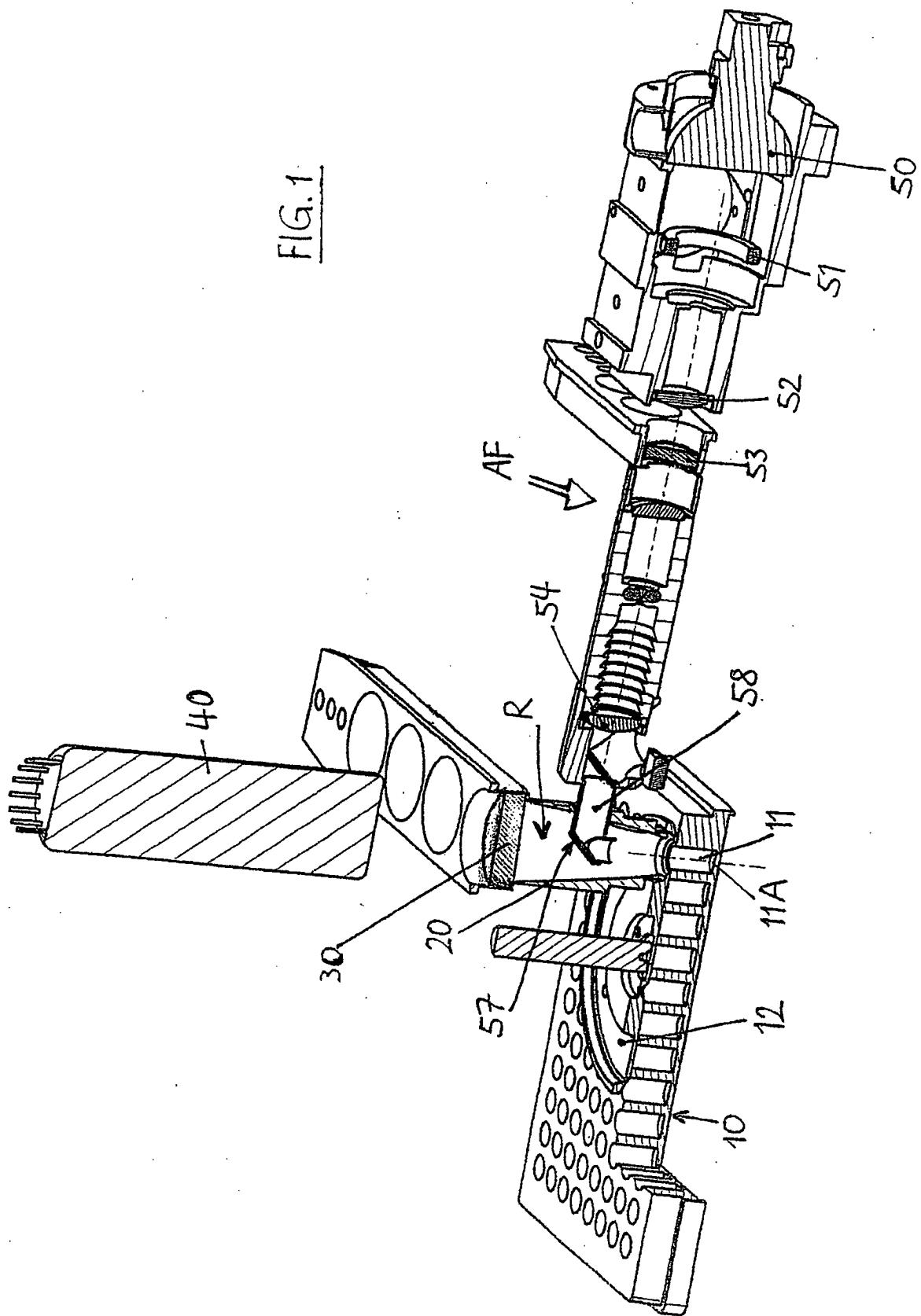
FIG. 1

FIG. 2

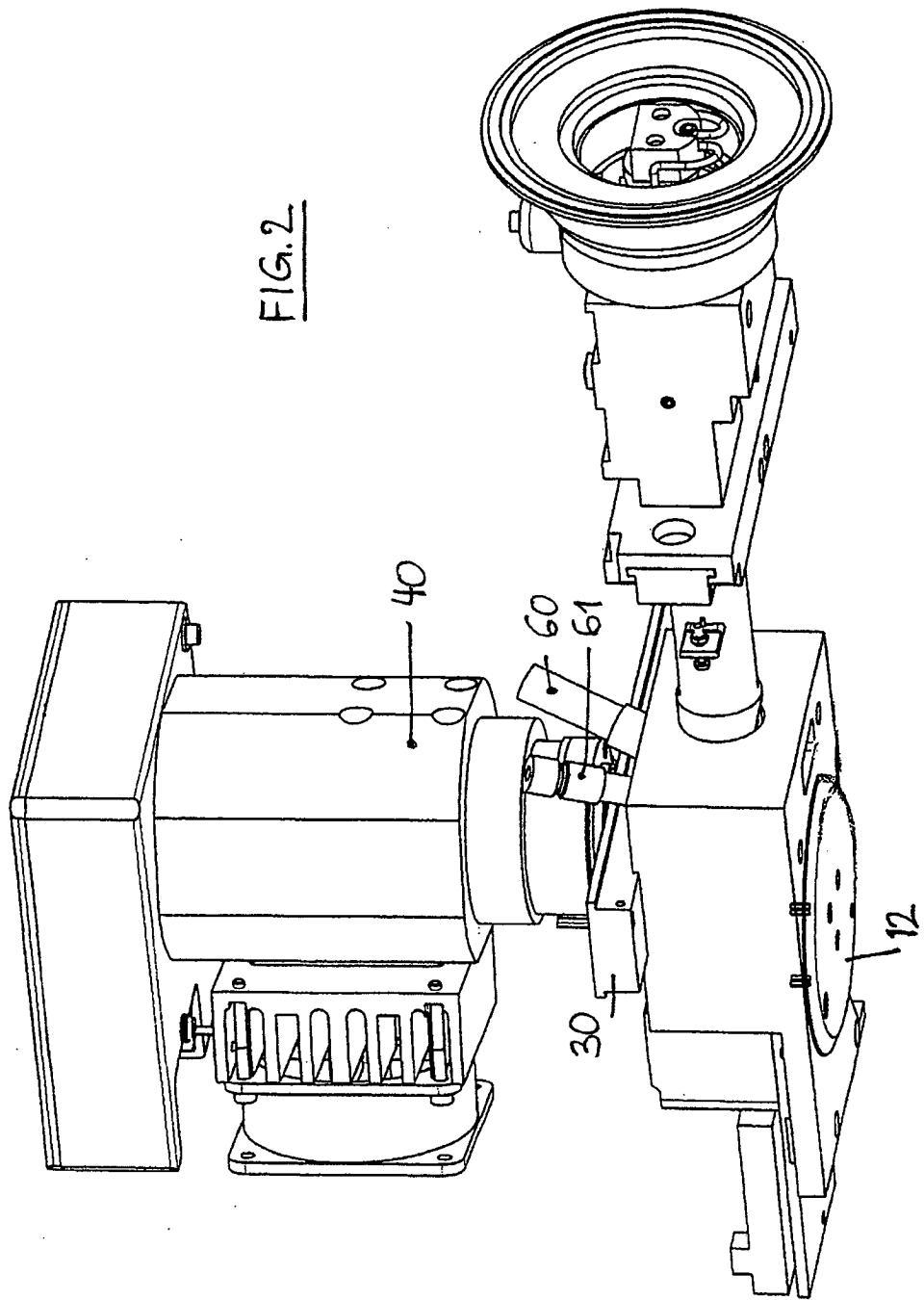
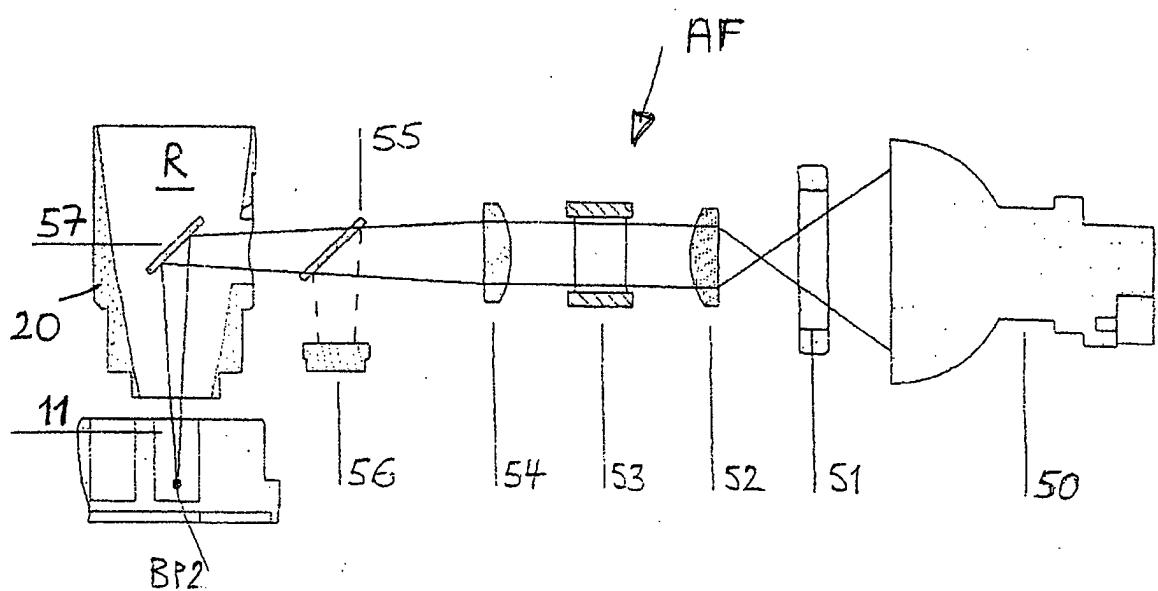
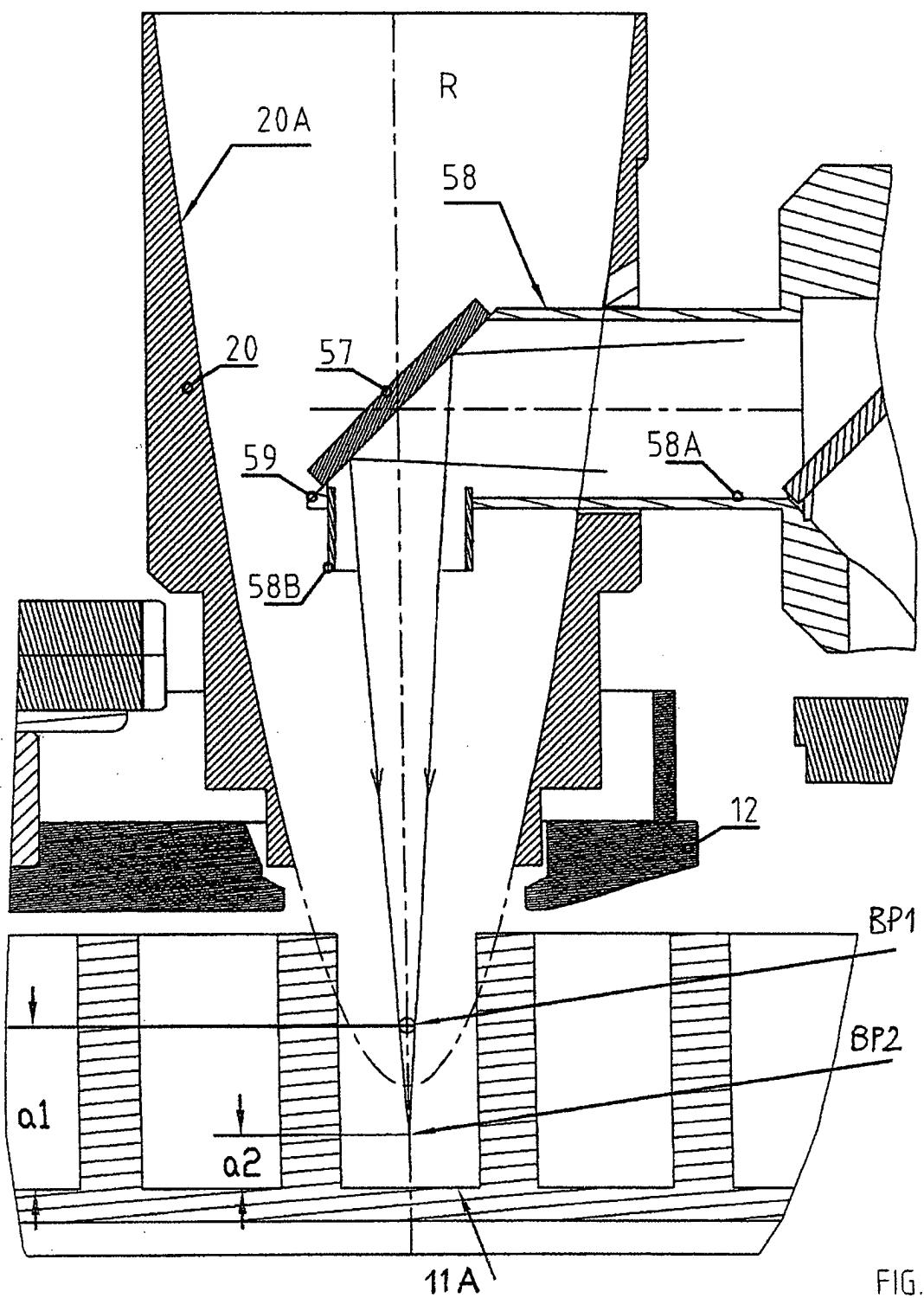
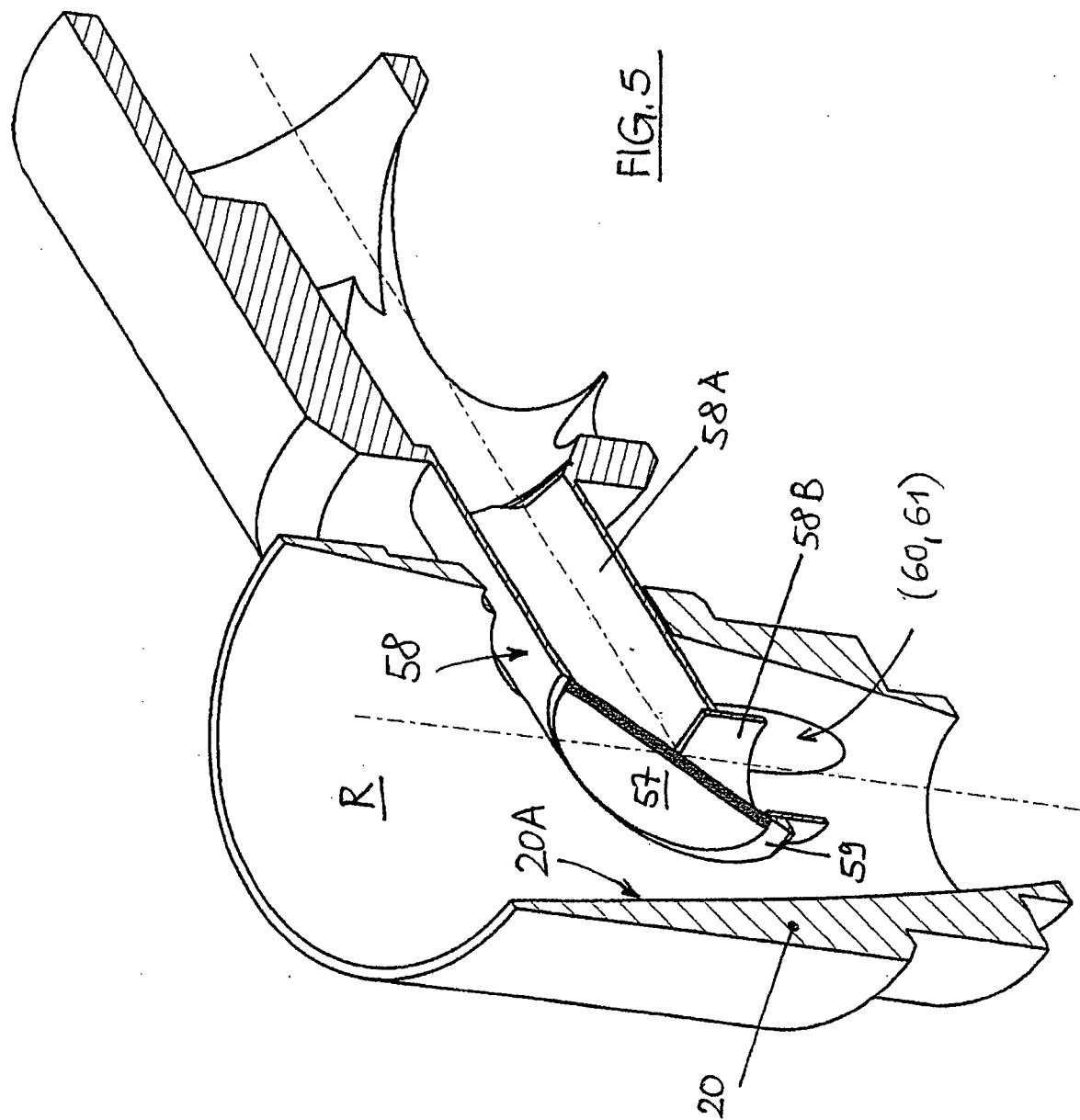


FIG.3







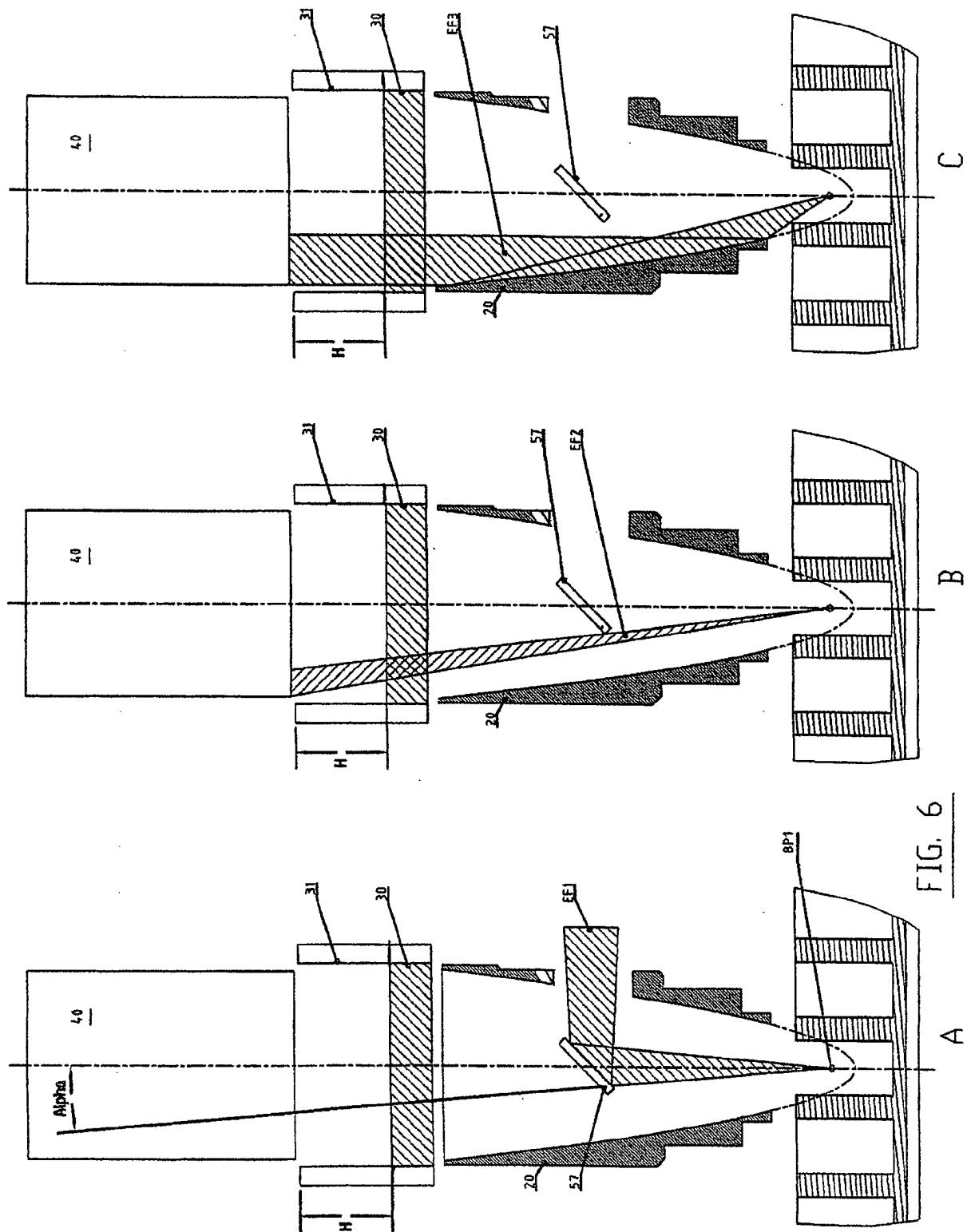
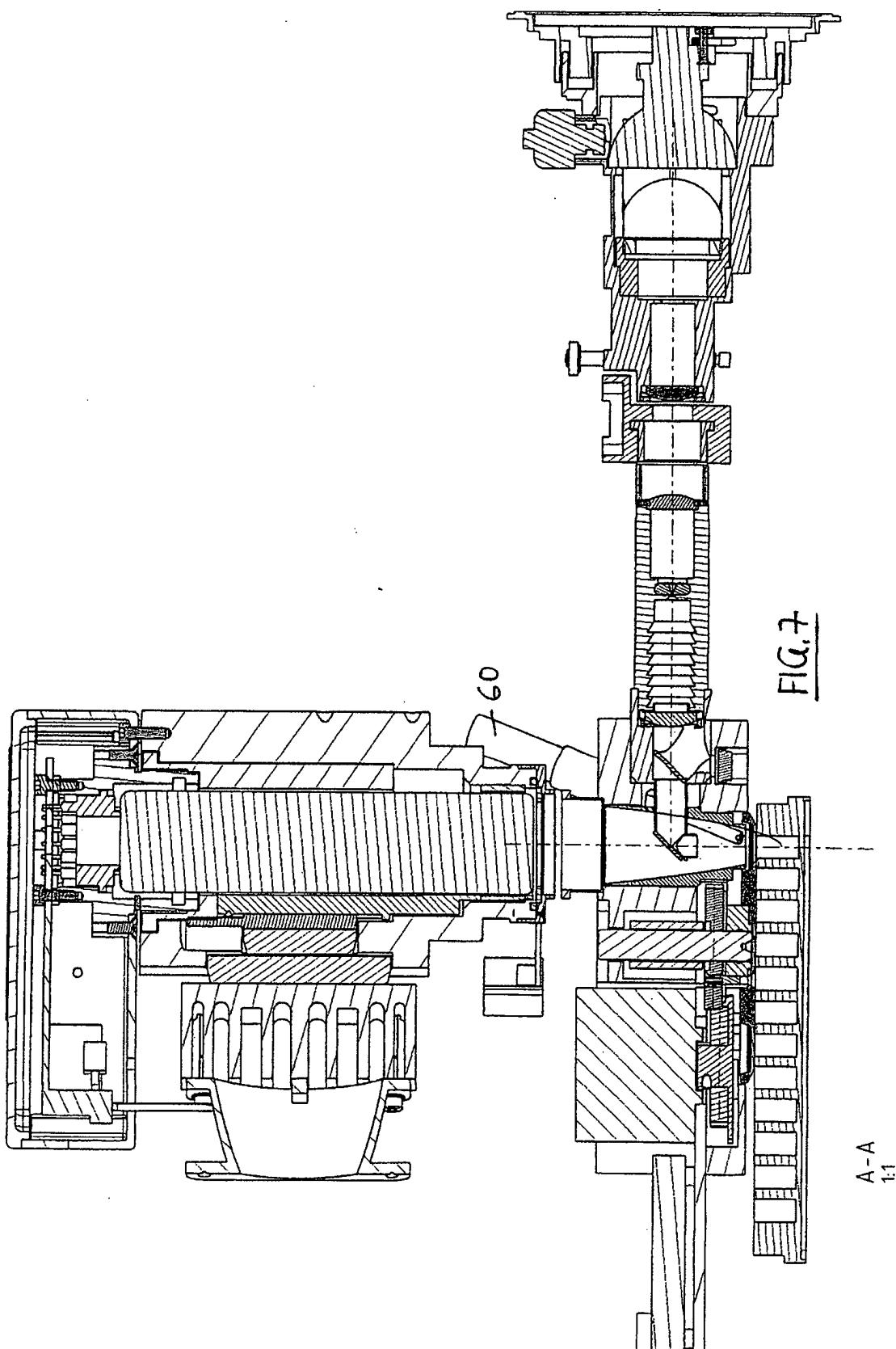
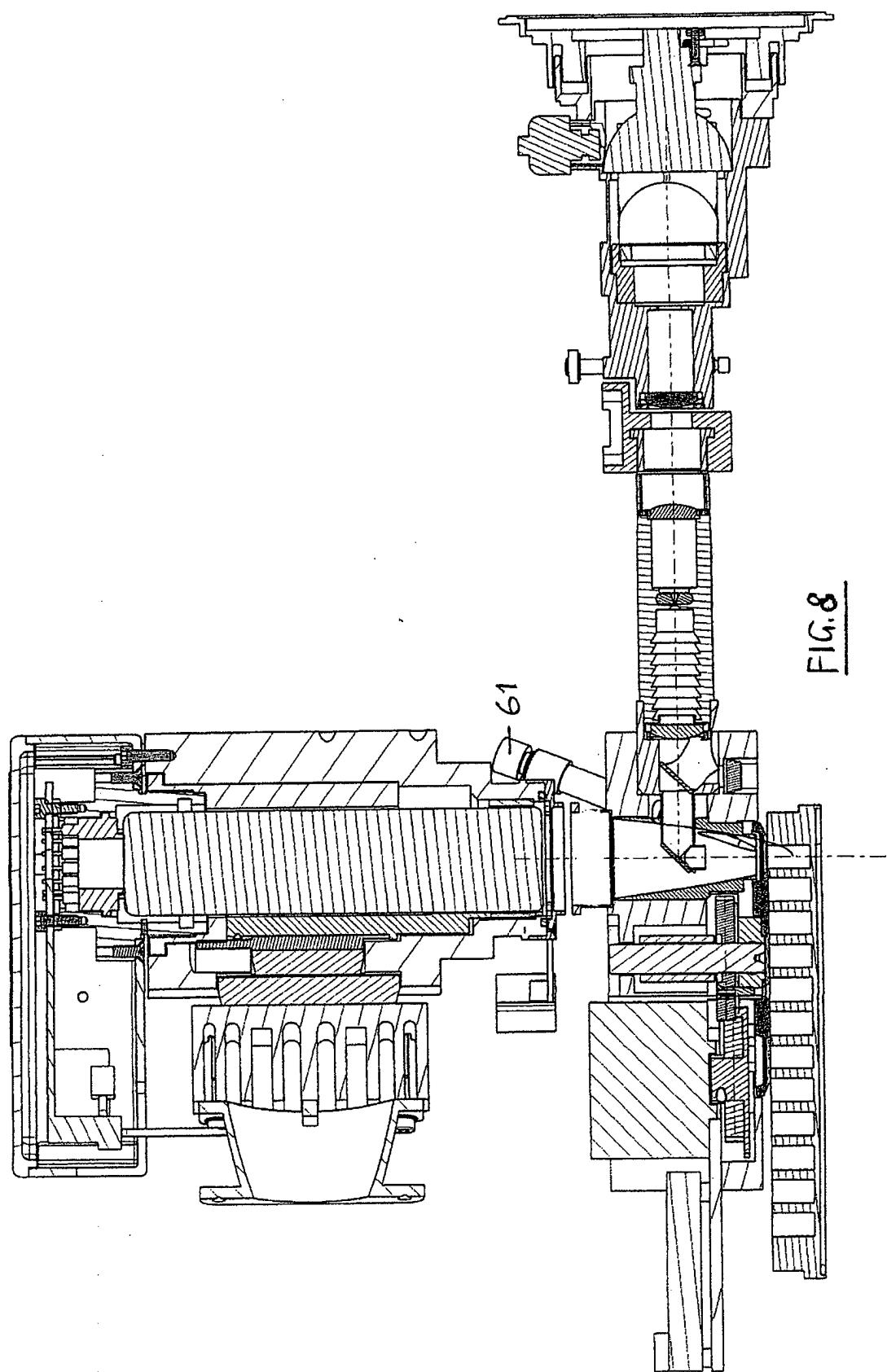


FIG. 6

A





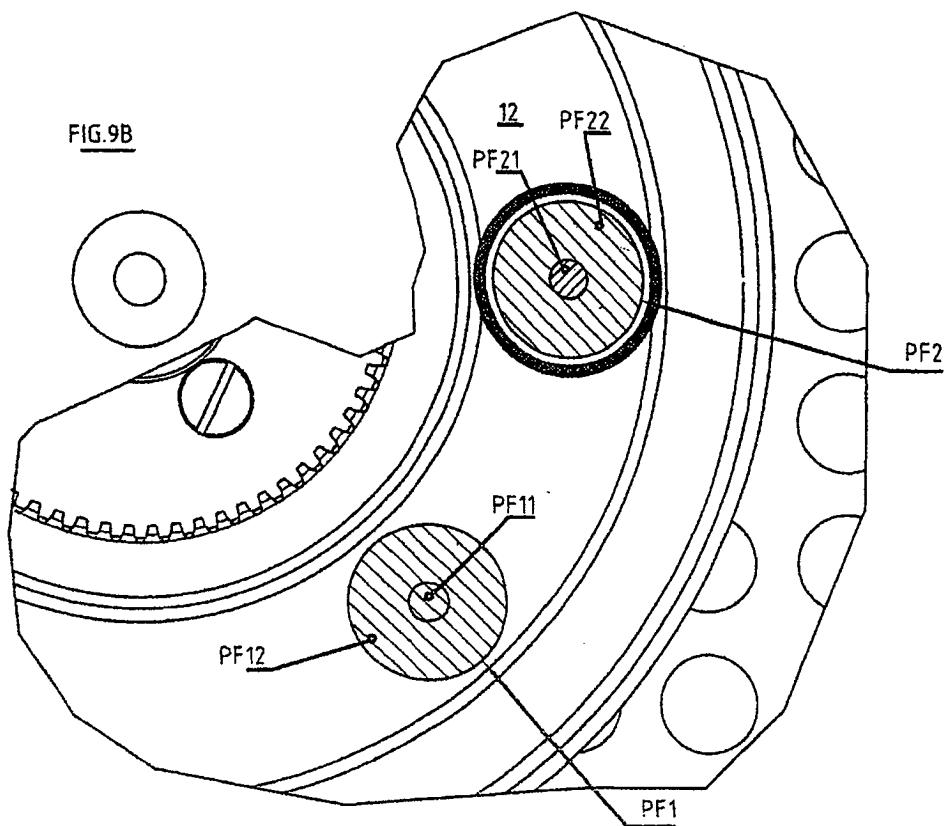
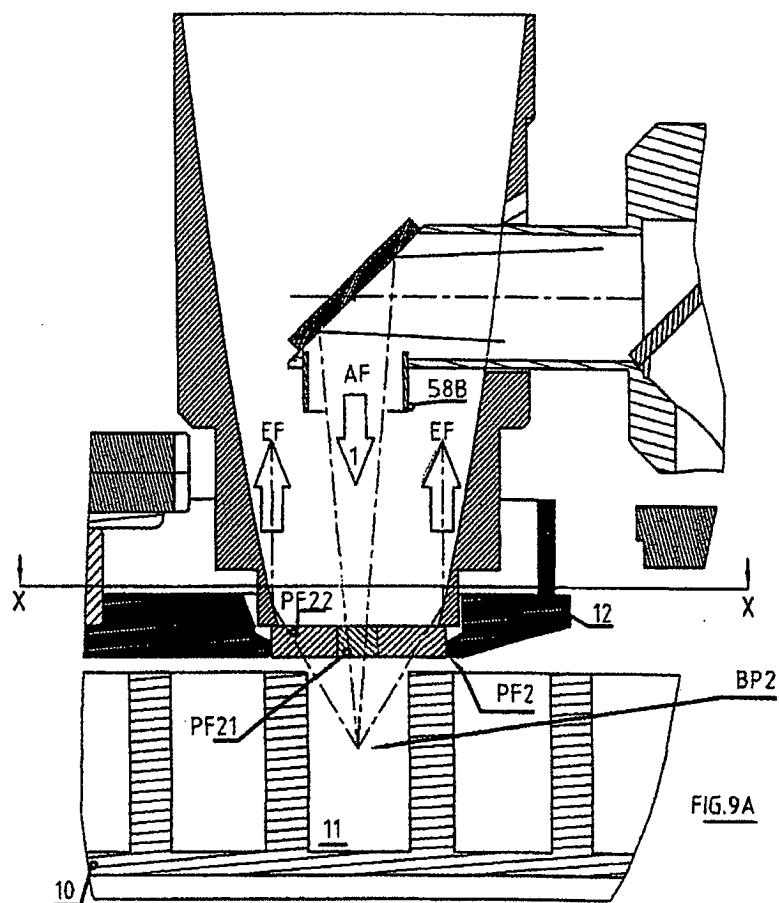


Fig. 10

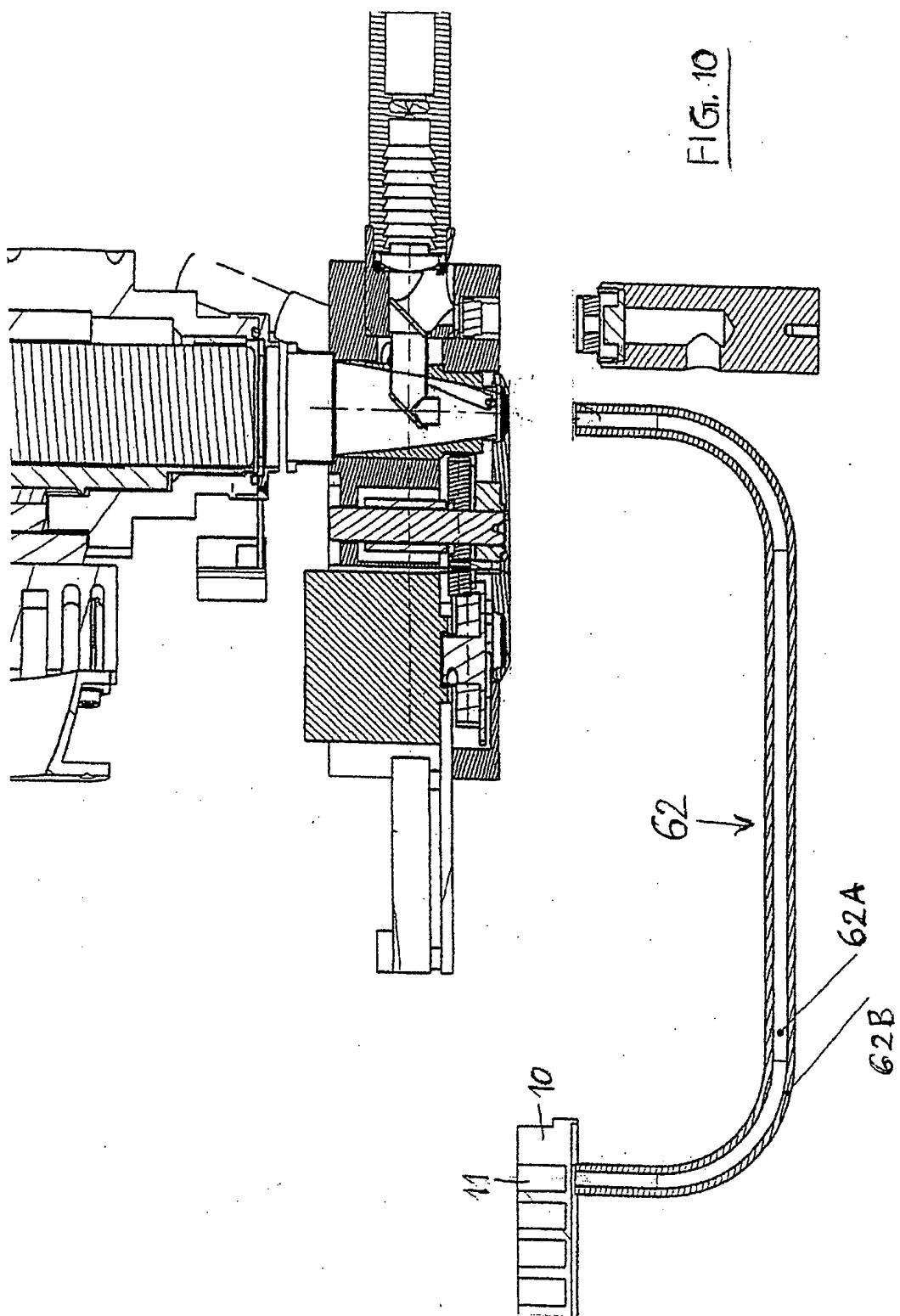


Fig. 11

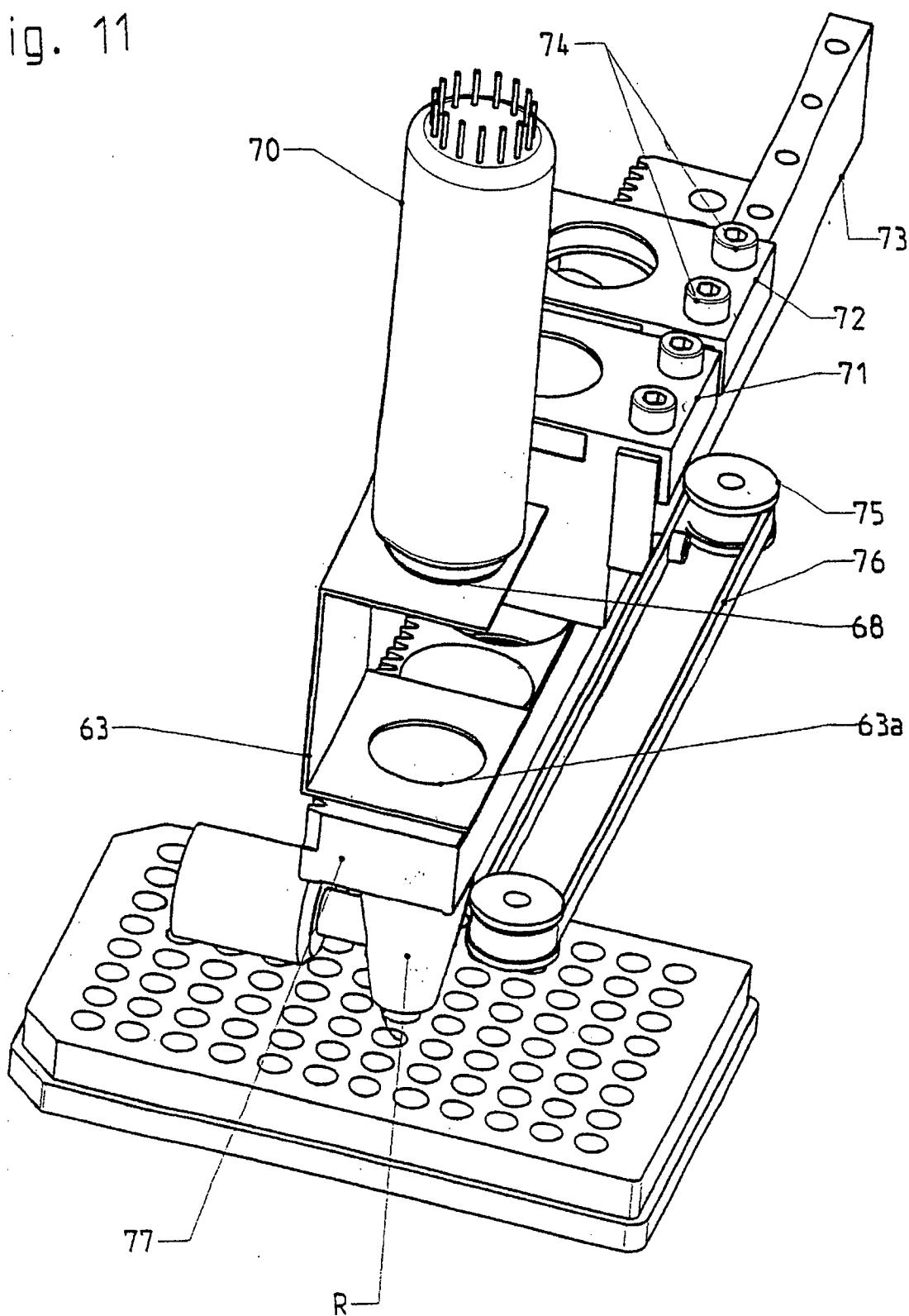


Fig.12

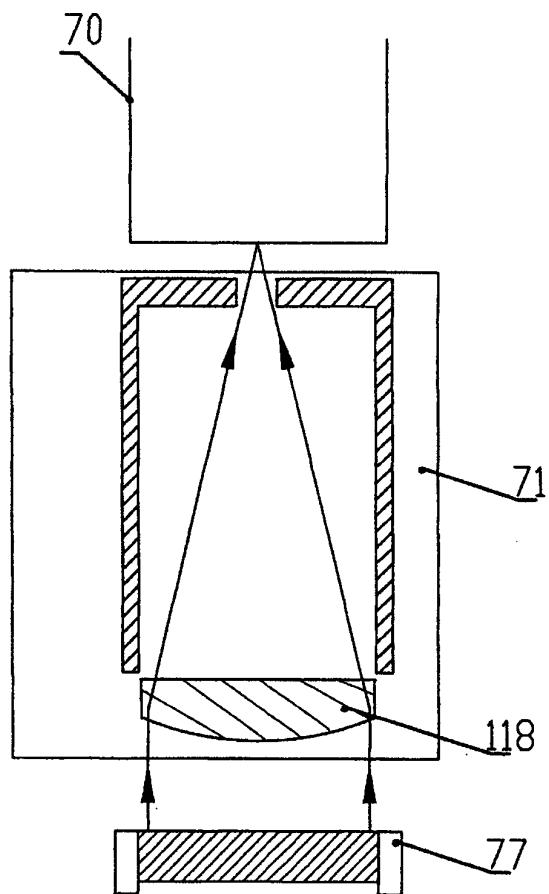


Fig.13

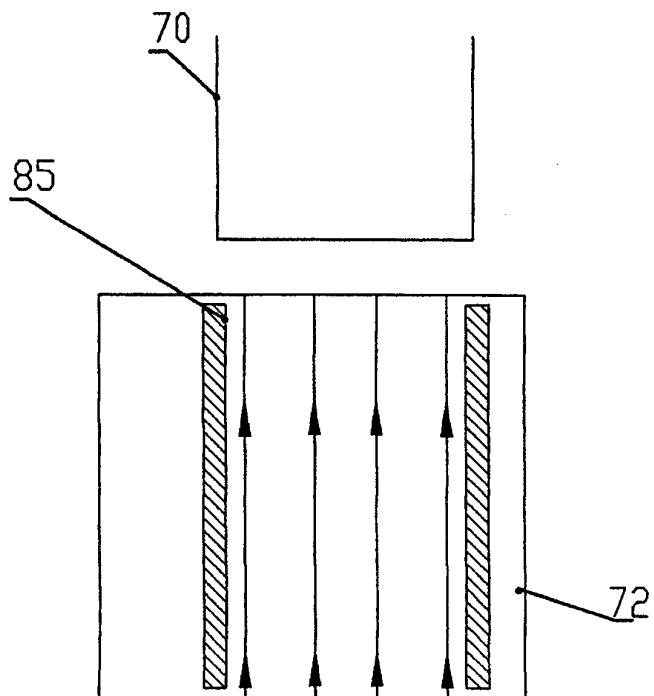


Fig.14

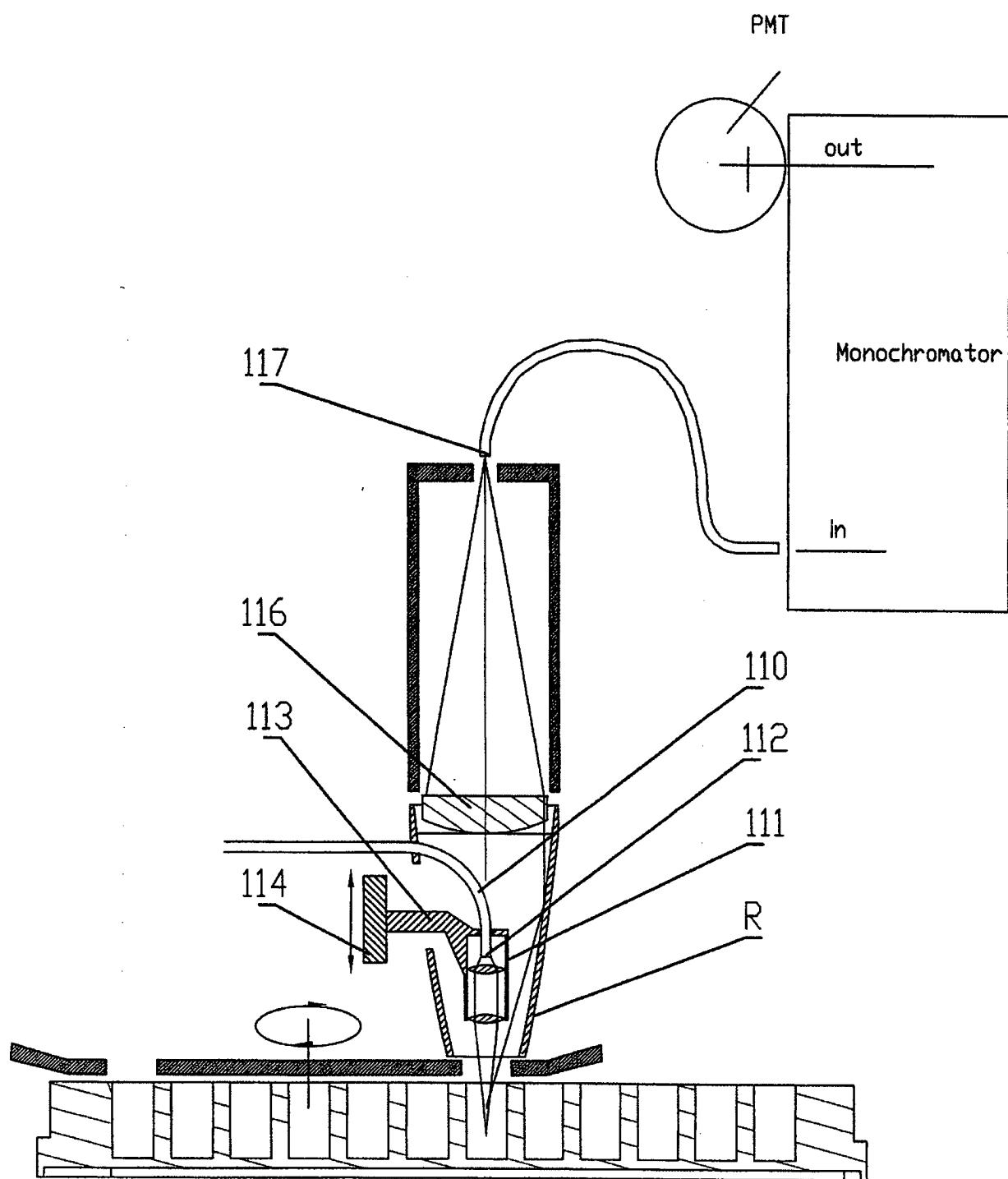


Fig.15

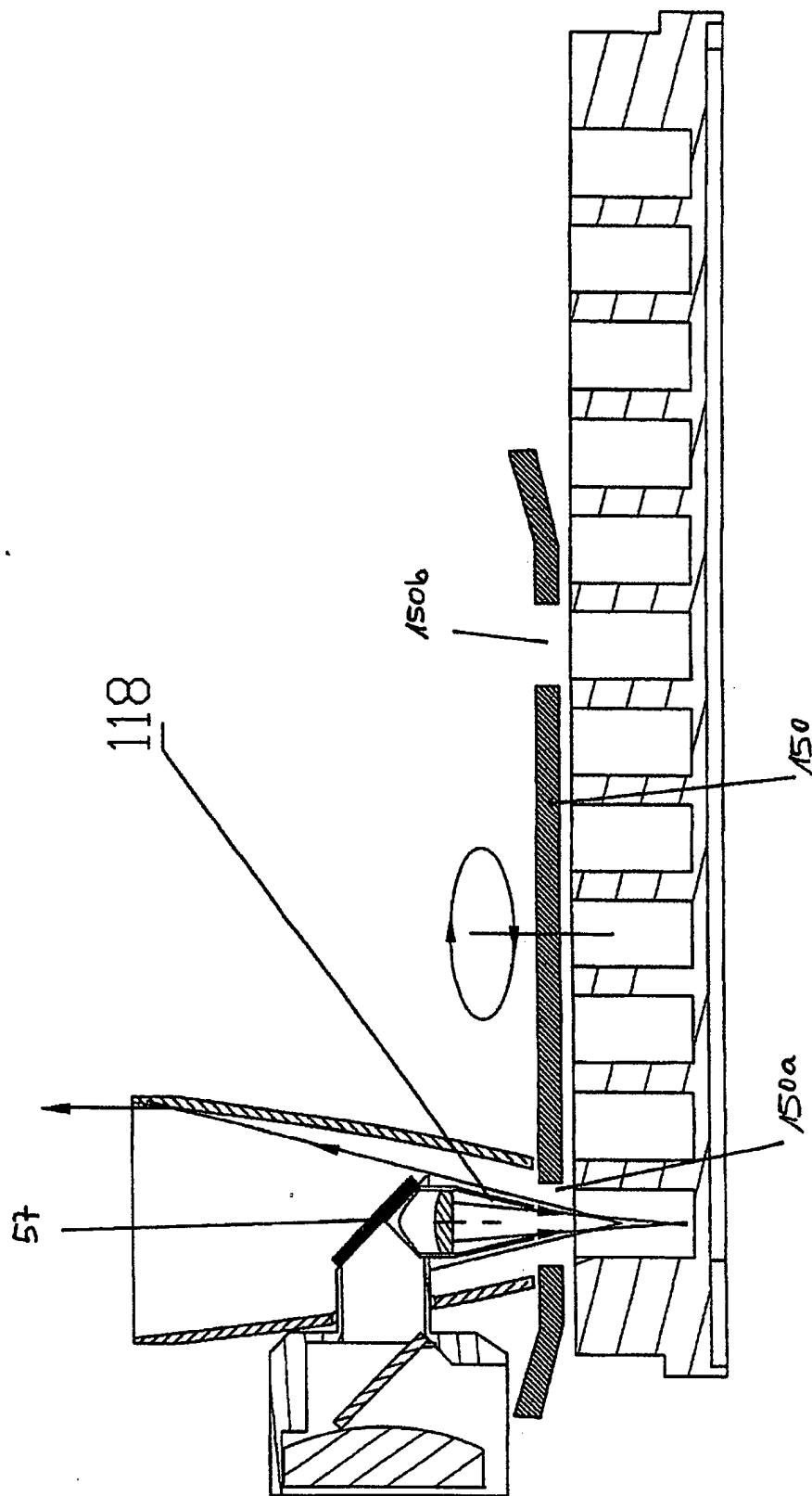
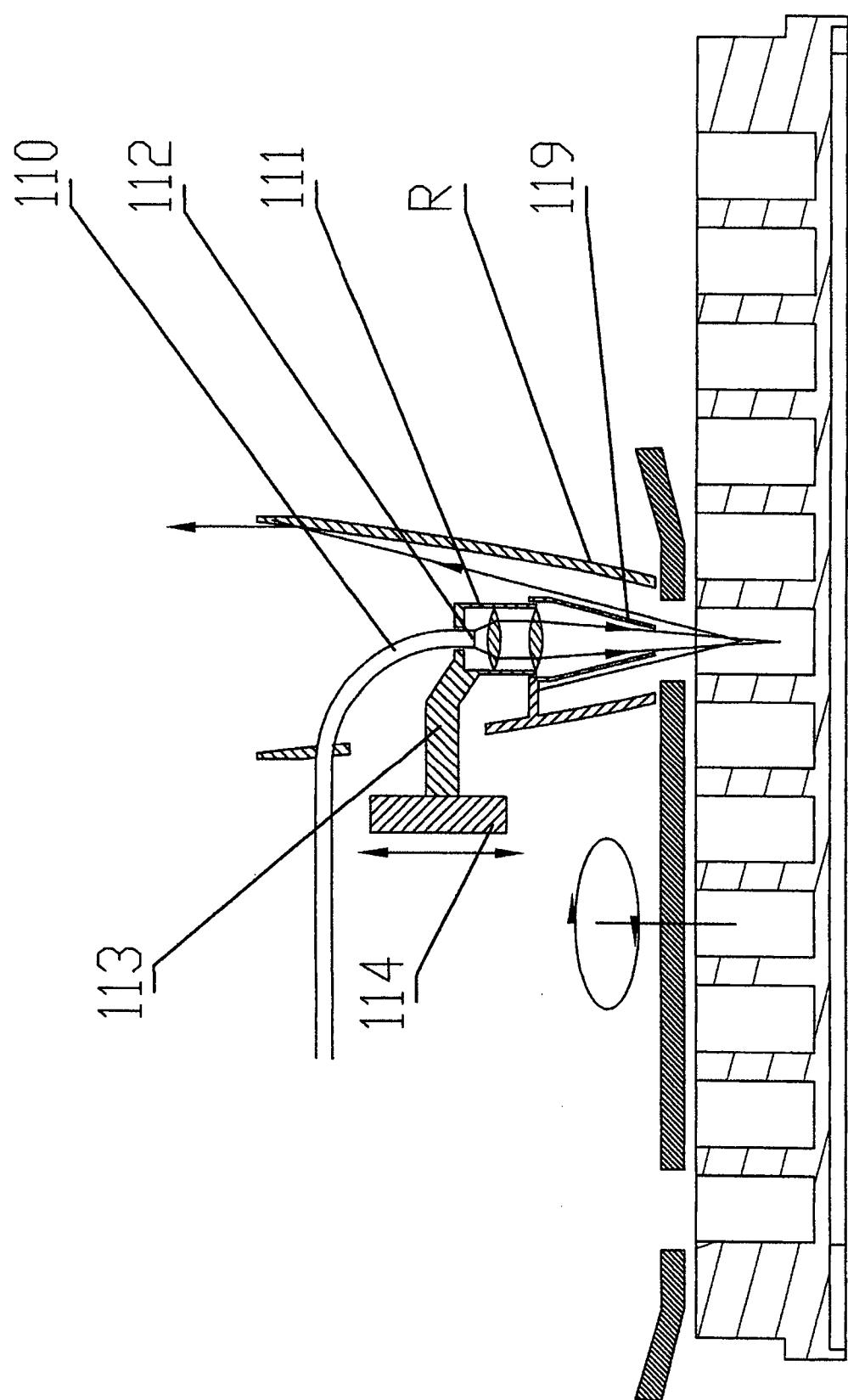


Fig.16



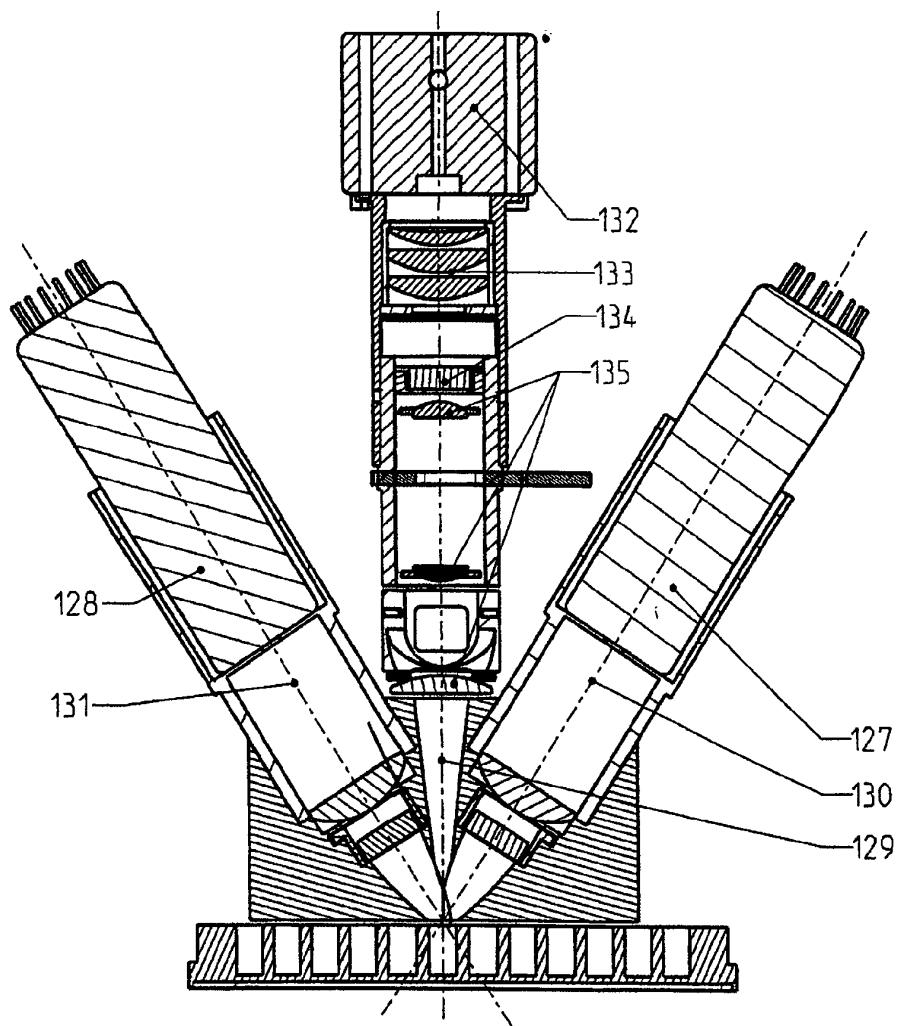


Fig . 17 B

