



(10) **DE 10 2010 053 323 B3** 2012.05.24

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 053 323.8**

(22) Anmeldetag: **02.12.2010**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **24.05.2012**

(51) Int Cl.: **G01J 1/42 (2006.01)**

**G01J 1/06 (2006.01)**

**G01T 1/29 (2012.01)**

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:  
**XTREME technologies GmbH, 52074, Aachen, DE**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Oehmke und Kollegen, 07743,  
Jena, DE**

(72) Erfinder:  
**Mißalla, Thomas, Dr., 07743, Jena, DE;  
Schürmann, Max Christian, Dr., 32312, Lübbecke,  
DE; Bolshukhin, Denis, Dr., 37085, Göttingen, DE;  
Tkachenko, Boris, 30625, Hannover, DE**

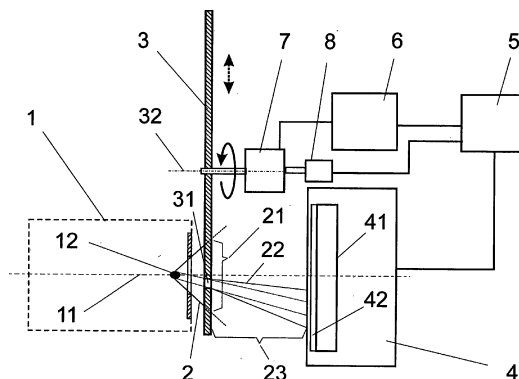
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

<b>DE</b>	<b>82 27 494</b>	<b>U1</b>
<b>DD</b>	<b>1 47 153</b>	<b>A1</b>
<b>DD</b>	<b>2 49 759</b>	<b>A1</b>
<b>FR</b>	<b>2 574 542</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>7 023 524</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>4 828 384</b>	<b>A</b>
<b>JP</b>	<b>2005 017 106</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur räumlich aufgelösten Messung von Parametern in einem Querschnitt eines Strahlenbündels energiereicher Strahlung mit hoher Intensität**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Verfahren und Anordnungen zur räumlichen Erfassung von Messdaten über den Querschnitt eines Bündels energiereicher Strahlung mit hoher Intensität.

Die Aufgabe, eine neue Möglichkeit zur Strahlungsmessung innerhalb des Querschnitts eines Strahlenbündels hoher Intensität zu finden, die räumlich hochaufgelöste Messdaten erfasst, ohne dass Sättigung oder Degradation der Detektoren die Messgenauigkeit beeinträchtigen, wird erfindungsgemäß gelöst, indem der vollständige Querschnitt (21) des Strahlenbündels (2) auf einem abschattenden Element (3) abgebildet wird, durch Bewegung mindestens einer Öffnung (31) der Querschnitt (21) sukzessive in Teilstrahlenbündel (22) mit reduziertem Querschnitt und verringerter Intensität zerlegt wird und zeitlich und räumlich zugeordnet zu den Positionen der Öffnung (31) Messwerte der die Öffnung (31) passierenden Teilstrahlenbündel (22) aufgenommen und gespeichert werden.



### Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur räumlichen Erfassung von Messdaten (Parametern) über den Querschnitt eines Bündels energiereicher Strahlung mit hoher Intensität. Sie wird vorzugsweise bei der Vermessung energiereicher Strahlenbündel für die Bearbeitung von Werkstücken eingesetzt, um räumliche Profile von erfassten Strahlungsparametern zu erstellen.

**[0002]** Für die berührungslose Bearbeitung von Werkstücken, wie z. B. Halbleiterscheiben (Wafer), die mittels lithographischer Verfahren strukturiert werden, wird in zunehmendem Maße energiereiche Strahlung, wie z. B. Laserstrahlung, extrem-ultraviolette (EUV-)Strahlung oder auch Teilchenstrahlung (Elektronen- oder Ionenstrahlen) eingesetzt. Für den effizienten Einsatz solch energiereicher Strahlung ist es von großer Bedeutung, insbesondere Parameter wie die räumliche Verteilung der Energie, also der Intensität (Leistung je Fläche und Zeit) der Strahlung, über den Querschnitt eines Bearbeitungsstrahles (fortan Strahlenbündel) zu messen, damit Inhomogenitäten korrigiert oder deren Auswirkungen während des Bearbeitungsfortschritts kompensiert werden können.

**[0003]** Die räumliche Vermessung von Strahlenbündeln erfolgt heute zumeist durch optoelektronische Sensoren, wie z. B. einzeln oder in einem Array angeordnete Photodioden, CCD- und CMOS-Detektoren oder hinter fluoreszierenden Schirmen angeordnete Kameras oder Photonenzähler. Dabei ruft die als Eingangssignal auf dem Sensor auftreffende Strahlung ein elektrisches Ausgangssignal hervor, wobei der funktionale Zusammenhang von Eingangssignal- und Ausgangssignalstärke durch eine für jeden Detektor und Strahlungsart (Teilchenart, Wellenlänge) spezifische Kennlinie beschrieben wird.

**[0004]** Kennlinien von optoelektronischen Sensoren weisen, typischerweise über einen für messtechnische Zwecke geeigneten Bereich, einen linearen Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangssignal auf. Bedingt durch die Funktionsweise der Sensoren geht die Kennlinie ab einer bestimmten Größe des Eingangssignals in einen für Messzwecke ungeeigneten Sättigungszustand über.

**[0005]** Mit der Entwicklung immer leistungsfähigerer Strahlungsquellen erfordern Messungen der strahlungstechnischen Größen bei kurzweiliger, ionisierender Strahlung bereits bei Leistungen von  $> 100$  W sehr viel robustere Sensoren, die dennoch ausreichende Empfindlichkeit für kleine Leistungsschwankungen aufweisen müssen. Werden Sensoren für solche Messzwecke, z. B. für weiche Röntgenstrahlung (EUV) eingesetzt, führen die hohen Strahlungsenergien und Intensitäten schnell zu einer Sättigung oder gar zu einer Zerstörung, z. B. durch eine hohe Wärmeentwicklung in den Sensoren. Die Anwendung optischer Dämpfungsglieder, wie Absorptionsfilter, zwischen Strahlungsquelle und Sensor ist ebenfalls, wegen einer hohen Wärmeentwicklung, nur eingeschränkt möglich. Aus diesen Gründen werden Intensitäten innerhalb eines Strahlenbündels energiereicher Strahlung, wie UV-, DUV-, EUV-, Röntgen- oder Laserstrahlung, meist indirekt gemessen.

**[0006]** So ist beispielsweise in der US 7,023,524 B2 beschrieben, bewegliche Blenden zur gezielten Strukturierung des Strahls in den Strahlengang in oder nahe eines Zwischenfokus („intermediate focus“) einzubringen. Randstrahlen, sogenannte „out-of-field“-Strahlen, werden dabei durch eine Photodiode erfasst und daraus die Intensität der Strahlung bestimmt. Mit dieser Variante der Strahlungsmessung wird allerdings lediglich ein Äquivalent der Gesamtintensität der Quelle und keine Verteilung der Intensitäten über den Querschnitt des Strahlenbündels ermittelt, da der ermittelte Wert nicht aus dem zur Bearbeitung genutzten Bereich des Strahlenbündels stammt. Zur Behebung dieses Mangels wird ein indirektes Verfahren zur Messung der Intensitätsverteilung über den Querschnitt des Strahlenbündels vorgeschlagen, indem an den beweglichen Blenden der elektrische Widerstand oder andere sich infolge der Erwärmung bei Bestrahlung verändernde elektrische Parameter gemessen und daraus ein Intensitätsprofil abgeleitet wird. Allerdings wird mit dieser Lösung nur eine Ortsauflösung in der Dimension der Größe der Blenden erreicht.

**[0007]** Um Messungen innerhalb des Strahlenbündels vornehmen und dies bei laufender Bearbeitung eines Werkstücks durchführen zu können, ist aus der DE 82 27 494 U1 eine Anordnung bekannt, bei der lediglich ein kleiner Bruchteil des Laserstrahlquerschnitts streifenweise auf eine Messeinrichtung durch Reflexion ausgekoppelt wird, wodurch die Messung während der Laserbearbeitung eines Werkstücks möglich ist. Dazu wird ein reflektierender Rundstab auf einer Kreisbahn durch den Strahlengang hindurch bewegt. Da die relative Position des Reflektors im Bezug auf das Strahlenbündel zu jedem Zeitpunkt bekannt ist, können die jeweils gewonnenen Messwerte einem streifenförmigen Ausschnitt des Strahlenbündels räumlich zugeordnet werden. Allerdings sind diese Messdaten des Strahlenbündels über den jeweiligen Streifen gemittelte Werte und können daher nicht punktförmig hochaufgelöste Intensitätswerte erbringen.

**[0008]** Des Weiteren ist aus der DD 147 153 A1 eine Anordnung zur Messung der räumlichen Energieverteilung von Laserstrahlen bekannt, die mit einer Blendenanordnung aus zwei senkrecht zum Strahlengang beweglichen Schlitzblenden und einem dazu mitbewegten und mit einem zur Blendenanordnung verstellbaren Abstand in der Nähe der optischen Achse angeordneten Detektor arbeitet, um an der im Strahlquerschnitt beweglichen Blendenöffnung gebeugtes Licht zu erfassen. Nachteilig ist dabei der zur Blendenöffnung mitbewegte und speziell auf ein Beugungsmaximum eingerichtete Detektor, der insbesondere für divergente Strahlenbündel das Messergebnis verfälscht.

**[0009]** Eine ähnliche, aber sehr vereinfachte und nicht für energiereiche Strahlung geeignete Variante ist in der JP 2005-017106 A zur Messung der Intensitätsverteilung einer LED beschrieben, bei der ein Detektor direkt mit einer Lochblende bewaffnet über die Lichtquelle geführt wird.

**[0010]** Eine weitere Lösung zur Strahlungsmessung ist in der DD 249 759 A1 offenbart. Zur Messung der Strahldichte nicht rotationssymmetrischer Strahlstärkeverteilungen wird dort eine „Wanderlochblende“ in einer Fernfeldebene der Lichtquelle dadurch erzeugt, dass eine Spiralblende und eine Spaltblende dicht hintereinander angeordnet sind, die mit unterschiedlichen Drehzahlen um eine gemeinsame Achse rotieren, um die Empfindlichkeit an verschiedene Intensitäten anzupassen.

**[0011]** In der FR 2 574 542 A1 ist eine ähnliche Anordnung mit zwei rotierenden Blenden für die Messung in einem cw-Laserstrahl beschrieben worden.

**[0012]** Eine wesentlich kompliziertere Anordnung zur Energieverteilungsmessung eines Lasers ist in der US 4 828 384 A offenbart, die drei, davon zwei rotierende Blenden aufweist.

**[0013]** Problematisch sind bei allen drei letztgenannten Lösungen die jeweils zwei bewegten, unterschiedlich zu steuernden und zu synchronisierenden Blenden.

**[0014]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine neue Möglichkeit zur Strahlungsmessung innerhalb des Querschnitts eines Strahlenbündels energiereicher Strahlung mit hoher Intensität zu finden, die die Aufnahme von räumlich hochaufgelösten Messdaten mit herkömmlichen optoelektronischen Sensoren gestattet, ohne dass infolge hoher Strahlungsbelastung die Messgenauigkeit durch Sättigung oder Degradation der Sensoren oder durch Parameterschwankungen von Dämpfungs- oder Reflexionselementen verfälscht wird.

**[0015]** Die Aufgabe wird bei einem Verfahren zur räumlich aufgelösten Messung von Parametern in einem Querschnitt eines Strahlenbündels energiereicher Strahlung mit hoher Intensität, bei dem an einer interessierenden Stelle des Strahlenbündels Strahlungsanteile auf eine Messeinrichtung ausgekoppelt werden, mit den folgenden Schritten gelöst:

- Abschatten des Strahlenbündels durch ein abschattendes Element, so dass der Querschnitt des Strahlenbündels auf dem abschattenden Element abgebildet wird;
- Auskoppeln von Teilstrahlenbündeln mit jeweils gegenüber dem Strahlenbündel reduziertem Querschnitt und verringerter Intensität mittels mindestens einer im abschattenden Element befindlichen Öffnung;
- zeitlich aufeinanderfolgendes Zerlegen des Strahlenbündels in unterschiedlich positionierte Teilstrahlenbündel durch Bewegung der mindestens einen Öffnung des abschattenden Elements zu unterschiedlichen Positionen innerhalb des Querschnitts des auszumessenden Strahlenbündels mittels einer rotierend ausgeführten Bewegung des abschattenden Elements wobei die Zerlegung durch die mindestens eine Öffnung des abschattenden Elements an einem optischen Knoten einer Strahlungsquelle vorgenommen wird und die Intensitätsmessung mittels der Messeinrichtung in einem divergierenden Bereich des Strahlenbündels nach dem optischen Knoten erfolgt;
- zeitlich aufeinanderfolgendes Erfassen von Messwerten der durch die mindestens eine Öffnung transmittierten Teilstrahlenbündel mit einer Messeinrichtung in Form eines großflächig im Querschnitt des Strahlengangs messenden Detektors und Erfassen der zugehörigen Position der Teilstrahlenbündel im Querschnitt des Strahlenbündels in Abhängigkeit einer vorgegebenen Bahn der Öffnung infolge der rotierenden Bewegung des abschattenden Elements und
- Speichern von Messdaten aus Messwerten und zugeordneten Positionen der sukzessiv erfassten Teilstrahlenbündel.

**[0016]** Die Erfindung ist bevorzugt für die Erfassung von Messwerten in einem Strahlenbündel anzuwenden, dessen Leistung im Messort vorzugsweise zwischen 10 und 500 W beträgt. Höhere Leistungen im Messort sind jedoch möglich. Die erreichbaren Leistungen im Zwischenfokus unterscheiden sich bei unterschiedlichen Varianten der Strahlungsquellen und Kollektorsysteme dabei stark.

**[0017]** Typische Werte einer EUV-In-Band-Leistung im Zwischenfokus, bei der sich der Einsatz der Erfindung für den EUV-In-Band-Bereich (bei einer zentralen Wellenlänge von  $\lambda_0 = 13,5$  nm mit einer Bandbreite von 2% der Wellenlänge, d. h. innerhalb des Spektralbereichs von 13,365 bis 13,635 nm) dringend empfiehlt, sind schon bei 10 bis 200 W gegeben, da die EUV-Out-of-Band-Leistung (im Wellenlängenbereich  $\lambda = 5$  bis 20 nm) das 10- bis 20-fache der EUV-In-Band-Leistung beträgt und ebenfalls auf die Messdetektoren wirkt. Die Gesamtstrahlungsleistung (inklusive Wärmestrahlung) liegt sogar noch um bis zu 2 bis 3 Größenordnungen höher als die nutzbare EUV-In-Band-Leistung.

**[0018]** Die Erfindung basiert auf der Grundidee, dass die Intensität eines Strahlenbündels reduziert werden muss, um die nachteiligen Effekte, wie Sättigung und beschleunigte Degradation der Detektoren, welche die Messgenauigkeit beeinträchtigen, zu vermindern. Dabei soll jedoch eine eindeutige räumliche Zuordnung der detektierten Intensitäten gewährleistet bleiben. Dazu sieht die Erfindung vor, dass nahezu der gesamte Querschnitt des Strahlungsbündels abgeschattet wird, wobei räumlich eng begrenzte Öffnungen mit variierbarer Lage eine systematische Vermessung von Teilstrahlenbündeln innerhalb des Querschnitts des Strahlungsbündels gestatten.

**[0019]** Die Reduzierung der Intensität wird einerseits dadurch erreicht, dass das abschattende Element in einem konvergenten oder divergenten Bereich des Strahlenbündels nahe eines optischen Knotens, der die punktförmige Quelle selbst oder ein Abbild der Quelle (konjugierter Quellort bzw. Zwischenfokus) sein kann, positioniert wird und die Messeinrichtung (Detektor) in großem Abstand dazu angeordnet ist (Ausnutzung des Abstandsgesetzes bzw.  $1/r^2$ -Gesetzes). In dem entstehenden Teilstrahlenbündel nimmt also die Intensität mit zunehmendem Abstand vom abschattenden Element ab, so dass eine nachfolgend im Strahlengang des Teilstrahlenbündels angeordnete Messeinrichtung trotz sehr hoher Leistung der Strahlungsquelle bzw. Intensität im auszumessenden Strahlenbündel mit beliebigen herkömmlichen Detektoren ausgerüstet sein kann. Das abschattende Element wird an, jedoch nicht in, einem optischen Knoten angeordnet. Vorzugsweise wird eine Reduzierung der Intensität des die Öffnung passierenden Teilstrahlenbündels durch Anordnen des abschattenden Elements in einem divergenten Abschnitt des Strahlenbündels erreicht.

**[0020]** Andererseits beruht die Reduzierung der Intensität des ursprünglichen Strahlenbündels auch auf der zusätzlichen Beugung und Streuung des durch die Öffnung hindurchtretenden Teilstrahlenbündels.

**[0021]** Die Zerlegung des auszumessenden Strahlenbündels in Teilstrahlenbündel erfolgt, indem eine nicht konzentrisch zur Achse des Strahlenbündels definierte Bewegung mindestens einer Öffnung des den gesamten Querschnitt des Strahlenbündels abschattenden Elements ein systematisches Abtasten („Abrastern“) des Strahlquerschnitts realisiert. Dabei werden positionsabhängig separierte Ausschnitte aus dem Querschnitt auf die Messeinrichtung abgebildet und von den Ausschnitten aus dem Querschnitt räumlich geordnete, diskrete Messdaten erfasst. Die Zerlegung des auszumessenden Strahlenbündels in Teilstrahlenbündel durch die Öffnung des abschattenden Elements erfolgt vorzugsweise an einem Zwischenfokus. Die Zerlegung kann beispielsweise durch eine rotierende oder eine oszillierende Bewegung oder mit Hilfe einer Translationsbewegung des abschattenden Elements erfolgen. Vorzugsweise erfolgt die Zerlegung mit Hilfe einer Rotationsbewegung des abschattenden Elements um eine zur optischen Achse (= Mittelachse) des Strahlenbündels parallelen Rotationsachse. Die Öffnungen können auch in zufälliger Abfolge über den Querschnitt geführt werden.

**[0022]** Wird durch die für die Öffnung(en) vorgegebene(n) Bahn(en) eine Fläche abgerastert, die größer ist als der Querschnitt des Strahlenbündels, hat dies keinen negativen Einfluss auf die räumliche Auflösung der über den Strahlquerschnitt erhobenen Messdaten. Kommt es zu einer Verschiebung des Querschnitts relativ zur abgerasterten Fläche (z. B. durch eine Dejustierung einer Kollektroptik), kann diese Verschiebung durch Bewertung der räumlichen Verteilung aller Messdaten einer Querschnittsabtastung detektiert und korrigiert werden.

**[0023]** Mit der Erfindung ist es möglich, Strahlungsmessungen innerhalb des Querschnitts eines Strahlenbündels energiereicher Strahlung mit hoher Intensität durchzuführen, die Aufnahmen von räumlich hochaufgelösten Messdaten mit herkömmlichen optoelektronischen Sensoren gestattet, ohne dass die Messgenauigkeit infolge der hohen Strahlungsbelastung durch Sättigung oder Degradation der Sensoren oder durch Parameterschwankungen von Dämpfungs- oder Reflexionselementen verfälscht wird.

**[0024]** Es ist möglich, dass eine Reduzierung der Intensität des die Öffnung passierenden Teilstrahlenbündels dadurch erfolgt, dass das abschattende Element in einem konvergenten Bereich des Strahlenbündels vor einem Zwischenfokus der Strahlungsquelle und die Messeinrichtung in einem divergenten Bereich des Strahlenbündels nach dem Zwischenfokus angeordnet werden.

**[0025]** In einer vorteilhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Reduzierung der Intensität des die Öffnung passierenden Teilstrahlenbündels durch eine Verlängerung der Ausbreitungsstrecke des Teilstrahlenbündels bis zur Messeinrichtung erreicht. Dies kann beispielsweise durch ein Einbringen einer Umlenkoptik in den Strahlengang des die Öffnung passierenden Teilstrahlenbündels erfolgen.

**[0026]** In einer einfachen Ausführung des Verfahrens wird zu jedem Zeitpunkt nur eine Öffnung über den Querschnitt des Strahlenbündels geführt.

**[0027]** In einer weiteren Ausführung des Verfahrens wird zu jedem Zeitpunkt mehr als eine Öffnung über den Querschnitt des Strahlenbündels geführt. Eine Diskriminierung der Messwerte der jeweils gleichzeitig erzeugten Teilstrahlenbündel erfolgt durch separierte Detektorbereiche der Messeinrichtung.

**[0028]** Eine Aufnahme eines Messwerts wird getriggert, wenn sich die Position der mindestens einen Öffnung auf ihrer Bahn gegenüber einer Position einer vorhergehenden Aufnahme um einen Betrag verändert hat, welcher mindestens der Ausdehnung der Öffnung in Bewegungsrichtung entspricht. Durch zwei zeitlich aufeinander folgende Aufnahmen werden daher Messwerte von sich nicht überlappenden Ausschnitten des Querschnitts des Strahlenbündels erfasst.

**[0029]** Die Bewegung der Öffnung kann in einer Ausführung des Verfahrens schrittweise erfolgen, wobei die Messwerte in der Messeinrichtung synchronisiert mit der Bewegung des abschattenden Elements in dessen Bewegungspausen aufgenommen werden. Ferner ist es möglich, dass die Öffnung kontinuierlich bewegt wird und die Messeinrichtung für die Aufnahme der Messwerte dann getriggert wird, wenn eine vorbestimmte Position der Öffnung erreicht ist.

**[0030]** Die Aufgabe wird ferner in einer Anordnung zur räumlich aufgelösten Messung von Parametern in einem Querschnitt eines Strahlenbündels energiereicher Strahlung mit hoher Intensität, enthaltend eine Strahlungsquelle, die ein zu vermessendes Strahlenbündel aussendet, ein Strahlungsanteile aus dem Strahlenbündel auskoppelndes Element und eine Messeinrichtung zur Messung der aus dem Strahlenbündel ausgekoppelten Strahlungsanteile, dadurch gelöst, dass

- das Strahlungsanteile auskoppelnde Element als ein abschattendes Element ausgebildet ist, durch das das zu vermessende Strahlenbündel über seinen Querschnitt abschattet ist und das mindestens eine Öffnung zum Durchlassen eines Teilstrahlenbündels aufweist,
- das abschattende Element im Strahlenbündel in der Nähe eines optischen Knotens der Strahlungsquelle so drehbar angeordnet ist, dass die mindestens eine Öffnung auf einer vorbestimmten Bahn in unterschiedlichen Bereichen des Querschnitts des Strahlenbündels beweglich ist, wobei aufgrund der Bewegung der mindestens einen Öffnung entlang der vorbestimmten Bahn hinter der mindestens einen Öffnung zeitlich aufeinanderfolgend Teilstrahlenbündel mit unterschiedlichen Positionen innerhalb des Querschnitts auf die großflächig in einem divergierenden Bereich des Strahlenbündels messende Messeinrichtung gerichtet sind;
- die Messeinrichtung im divergierenden Bereich des Strahlenbündels nach einem optischen Knoten der Strahlungsquelle dem abschattenden Element in einem solchen Abstand nachgeordnet ist, dass die Teilstrahlenbündel zur Aufnahme von Messwerten der energiereichen Strahlung soweit geschwächt sind, dass eine um mehrere Größenordnungen verringerte Intensität der Strahlung gegenüber der am Ort der Öffnung im Querschnitt des Strahlenbündels vorhanden ist, und
- Mess- und Steuermittel zur Steuerung des abschattenden Elements zur Positionserfassung der mindestens einen Öffnung innerhalb des Querschnitts, zur Synchronisation der Messwerterfassung der Messeinrichtung mit der Bewegung des abschattenden Elements und zur Zuordnung der Messwerte der Teilstrahlenbündel zu den unterschiedlichen Positionen der mindestens einen Öffnung vorhanden sind, um ortsabhängig gemessene Parameter aus dem Querschnitt des Strahlenbündels zu erhalten.

**[0031]** In einer vorteilhaften, da technisch einfach umzusetzenden, Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung weist das abschattende Element eine Rotationsachse auf, die außerhalb der optischen Achse und außerhalb des Strahlenbündels verlaufend ist.

**[0032]** Das abschattende Element ist durch einen Antrieb kontinuierlich oder schrittweise um die Rotationsachse drehbar.

**[0033]** In einer weiteren Ausgestaltung kann das abschattende Element translatorisch bewegbar sein.

**[0034]** Es ist auch möglich, dass das abschattende Element mehrere Öffnungen aufweist, die auf unterschiedlichen Bahnen um die Rotationsachse durch den Querschnitt des Strahlenbündels geführt sind. Die Öffnungen können dabei Feinlöcher gleicher Größe oder aber eine Kombination von Feinlöchern und Großlöchern unterschiedlicher Größe sein.

**[0035]** Je nach dem Verwendungszweck und den technischen Parametern der vorhandenen Mess- und Steuermittel, können die Öffnungen mit gleichen Winkeln und Radien gebildete gleiche Abstände zueinander aufweisen. Es ist daneben auch möglich, dass die Öffnungen unterschiedliche Abstände mit verschiedenen Winkeln und gleichen Radien, aber auch unterschiedliche Abstände mit gleichen Winkeln und verschiedenen Radien zueinander aufweisen.

**[0036]** Als Messeinrichtung ist vorzugsweise mindestens ein Detektor, z. B. Photodioden, Kameras mit CCD-, CMOS- oder anderen zweidimensionalen Arrays und Photonen-zähler, vorhanden.

**[0037]** In einer vorteilhaften Ausbildung der erfindungsgemäßen Anordnung ist vor der Messeinrichtung ein Leuchtschirm so angeordnet, dass ein Teilstrahlenbündel auf dem Leuchtschirm abgebildet und die Abbildung durch die Messeinrichtung erfassbar ist.

**[0038]** Es ist ebenfalls vorteilhaft, wenn die Messeinrichtung ein strahlablendes optisches Element zur Umlenkung der Teilstrahlenbündel auf einen außerhalb der optischen Achse angeordneten Detektor aufweist. Mit einer solchen Anordnung ist die Ausbreitungsstrecke der Teilstrahlenbündel in vorteilhafter Weise verlängert. Zudem sind weniger, gegenüber hohen Strahlungsintensitäten empfindliche, Elemente entlang der optischen Achse vorhanden. Ein strahlablendes optisches Element kann beispielsweise ein optisch reflektierender, metallischer Spiegel, ein Mehrschichtspiegel oder ein Gitter sein. Sehr günstig ist es, wenn das strahlablende optische Element aus dem Strahlengang ausschwenkbar ist, während der Detektor fest außerhalb der optischen Achse installiert ist.

**[0039]** In einer weiteren vorteilhaften Anordnung sind der Zwischenfokus, das strahlablende optische Element, z. B. ein Mehrschichtspiegel, sowie, unter Umständen, ebenfalls der Detektor auf einem Rowland-Kreis zueinander angeordnet. Dabei liegt der Zwischenfokus auf einem von der sphärischen Gittergeometrie abgeleiteten Kreis mit einem Radius, der gleich einem meridionalen Radius der Krümmung des Mehrschichtspiegels ist und den Mehrschichtspiegel in der Mitte seiner konkaven Spiegelfläche berührt. Mit einer solchen Anordnung (Rowland-Geometrie) können infolge der nach dem Zwischenfokus erzeugten Strahldivergenz auftretenden Abweichungen von einem Bragg-Winkel, unter dem eine Reflexion der Strahlen ohne Verschiebung ihrer Wellenlänge erfolgt, durch einen sphärischen, toroidischen, elliptischen, oder parabolischen Konkavspiegel, aufweisend eine Rowland-Geometrie, minimiert werden. Der Bragg-Winkel kann als der Einfallswinkel der zu reflektierenden Strahlung zu den reflektierenden Schichten bezeichnet werden. Im Falle von Reflexionen an Multilayerschichten (symmetrische Bragg-Reflektion) ist der Bragg-Winkel gleich dem Einfallswinkel der Strahlen des Strahlenbündels.

**[0040]** Es ist ferner möglich, ein strahlablendes optisches Element so aufzubauen, dass Strahlen, die von einer punktförmigen Quelle ausgehen, unter Bragg-Winkeln auf den Multilayerspiegel auftreffen, die einer konstanten Wellenlänge  $\lambda_0$  entsprechen. Beispielsweise können Gradientenmehrschicht-Beschichtungen auf dem strahlablenden optischen Element vorhanden sein, deren Schichtdicke und Abstände der Gitterebenen in Abhängigkeit einer Apertur des strahlablenden optischen Elements so gewählt sind, dass alle von einer punktförmigen Quelle ausgesendeten Strahlen das strahlablende optische Element unter Bragg-Winkeln treffen, für welche die Abstände der Gitterebenen angepasst sind.

**[0041]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Zeichnungen näher beschrieben. Dabei zeigen:

**[0042]** **Fig. 1:** eine Prinzipdarstellung der Erfindung mit einem abschattenden Element in Form einer Blendenplatte, die mindestens eine Öffnung auf unterschiedlichen Bahnen durch den Querschnitt eines zu messenden Strahlenbündels bewegt und einer Messeinrichtung, die Parameter der Teilstrahlenbündel misst, welche die Öffnung(en) an unterschiedlichen Messpositionen passieren;

**[0043]** **Fig. 2:** eine Ausführung des abschattenden Elements als rotierbare Blendenplatte mit mehreren gleichen Öffnungen zur Erzeugung von Teilstrahlenbündeln auf unterschiedlichen Bahnen über den Querschnitt des Strahlungsbündels sowie einer großen Öffnung zur vollständigen Freigabe des Strahlungsbündels für die Bearbeitung eines Werkstücks;

- [0044] **Fig. 3:** ein vorteilhaftes Abtastraster der Öffnungen, erzeugt durch eine Mehrzahl von systematisch spiralförmig versetzten Feinlöchern auf einer Blendenplatte;
- [0045] **Fig. 4:** eine Ausführung der Erfindung unter Verwendung einer Blendenplatte nach **Fig. 2** und einer in den Strahlengang einschwenkbaren Photodiode im ausgeschwenkten Zustand bei Einstellung der großen Öffnung der Blendenplatte;
- [0046] **Fig. 5:** eine gegenüber dem Prinzipaufbau nach **Fig. 1** erweiterte Ausführung der Erfindung mit einem Leuchtschirm, dessen Sekundärstrahlung mit einer herkömmlichen (VIS-)Kamera aufgenommen wird;
- [0047] **Fig. 6:** eine zweite Ausführung der Erfindung unter Verwendung einer Blendenplatte nach **Fig. 2** und eines ausschwenkbaren strahlumlenkenden Spiegels;
- [0048] **Fig. 7:** eine dritte Ausführung der Erfindung, bei der ein Zwischenfokus, ein ablenkendes optisches Element und ein Detektor auf einem Rowlandkreis angeordnet sind.
- [0049] Das Verfahren wird anhand des in **Fig. 1** dargestellten schematischen Aufbaus erläutert.
- [0050] Bei dem vorliegenden Verfahren wird ein von einer Strahlungsquelle **1** ausgesendetes, räumlich begrenztes Bündel energiereicher Strahlung mit einer Intensität (Strahlenbündel **2**) bezüglich seiner Strahleigenschaften (z. B. eine räumliche Intensitätsverteilung)) über den Strahlquerschnitt vermessen werden.
- [0051] Von der Strahlungsquelle **1** (z. B. eine EUV-Strahlungsquelle mit 13,5 nm Arbeitswellenlänge) wird Strahlung entlang einer optischen Achse **11** als ein Strahlenbündel **2** in der Form eines, vereinfachend angenommenen, räumlich begrenzten Strahlungskegels ausgesendet, welches – gegebenenfalls auch fokussiert durch einen Kollektor **15** (nur in **Fig. 4** dargestellt) – für eine Messung von Strahlparametern in dessen Querschnitt **21** zur Verfügung steht.
- [0052] Im Strahlenbündel **2** ist nach einem Quellort **12** (dem ursprünglichen oder einem optisch konjugierten) ein abschattendes Element **3** positioniert, das in unmittelbarer Nähe des Quellorts **12** angeordnet ist, um die Strahlungseigenschaften möglichst quellennah (d. h. ohne zusätzlich zwischengelagerte optische Elemente) zu ermitteln. Das abschattende Element **3** ist in einem divergenten Bereich des Strahlenbündels **2** angeordnet und mit einer kleinflächigen Öffnung **31** ausgestattet, durch die lediglich ein kleiner Teil des Strahlenbündels **2** das abschattende Element **3** passieren kann.
- [0053] Der weitaus größte Teil der Strahlung des Strahlenbündels **2** wird vom abschattenden Element **3** durch Absorption eliminiert. In speziellen Ausgestaltungen der Erfindung kann auch eine Reflexion nicht durchgelassener Strahlungsanteile erfolgen, die in eine Strahlungsfalle (nicht gezeigt) gelenkt oder für Diagnosezwecke genutzt werden können.
- [0054] Der, das abschattende Element **3** passierende, Anteil des Strahlenbündels **2** setzt sich als ein divergierendes Teilstrahlenbündel **22** fort, dessen Intensität gemäß dem Abstandsgesetz ( $r^2$ -Gesetz,  $r$  ist Abstand zur Strahlungsquelle **1** bzw. zu einem Zwischenfokus **13**) mit zunehmender Ausbreitungsstrecke **23** abnimmt. Zusätzlich wird die Strahlung des Teilstrahlenbündels **22** – wenn auch aufgrund der kurzen Wellenlänge der Strahlung nur geringfügig – an der Öffnung **31** gebeugt, was ebenfalls zur Divergenz des Teilstrahlenbündels **22** beiträgt.
- [0055] Das Teilstrahlenbündel **22** trifft in einem Abstand vom abschattenden Element **3** auf eine Messeinrichtung **4** und löst dort auf einem Detektor **41** ein strahlungsproportionales elektrisches Signal aus. Der Detektor **41** ist mit einem Absorptionsfilter **42** versehen.
- [0056] Durch eine definierte Bewegung der Öffnung **31** innerhalb des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **2** wird eine aufeinanderfolgende Abbildung von Ausschnitten des Querschnitts **21** auf die Messeinrichtung **4** als systematisches Abtasten („Abrastern“) des gesamten Querschnitts **21** ausgeführt. Für den Abtastvorgang erfolgt eine Bewegung des abschattenden Elements **3** derart, dass sich die Öffnung **31** innerhalb des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **2** systematisch in einem Abtastraster bewegt.
- [0057] Das abschattende Element **3** erstreckt sich im Wesentlichen orthogonal zur optischen Achse **11** und weist eine Rotationsachse **32** auf, die außerhalb der optischen Achse **11** und außerhalb des Strahlenbündels **2** liegt. Die Öffnung **31** kann dadurch in das Strahlenbündel **2** hineingedreht werden.



**[0058]** Mit der definierten Anordnung von Öffnung **31** und Rotationsachse **32** gegenüber der optischen Achse **11** des Strahlungsbündels **2** wird erreicht, dass während einer Umdrehung des abschattenden Elements **3** die Öffnung **31** zeitlich und räumlich definiert den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** durchläuft.

**[0059]** Wenn das abschattende Element **3** nur eine einzige Öffnung **31** aufweist, wird die Rotationsachse **32** nach jeweils einer Umdrehung des abschattenden Elements **3** schrittweise radial verschoben (in [Fig. 1](#) durch einen gestrichelten Doppelpfeil angedeutet), um den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** systematisch abzurastern.

**[0060]** Der kleine, lokal begrenzte Anteil der Strahlung des Strahlungsbündels **2**, der jeweils die Öffnung **31** passiert, macht lediglich einen nahezu punktförmigen bzw. sehr kleinen Bruchteil des zu analysierenden Querschnitts **21** aus. Er wird infolge der Divergenz des Strahlungsbündels **2** nach dem Quellort **12** sowie durch Beugung an der Öffnung **31** aufgespreizt und ergibt ein Teilstrahlenbündel **22**, dessen Intensität gegenüber der Intensität des ursprünglichen Strahlenbündels **2** erheblich, z. B. auf weniger als 1/1000, reduziert ist.

**[0061]** Die Position der Öffnung **31** ist aufgrund der bekannten Maße des abschattenden Elements **3** und dessen systematischer Rotationsbewegung zu jedem Zeitpunkt bekannt. Dadurch kann ein durch die Messeinrichtung **4** erfasste Messwert in einer elektronischen Speicher- und Auswerteeinheit **5** zusammen mit einer definierten Positionsangabe abgespeichert und mit weiteren Messwerten zu einem Parameterprofil (z. B. Intensitätsprofil) zusammengesetzt werden.

**[0062]** Die Bewegung zur Abrasterung des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **2** wird – wie in [Fig. 1](#) dargestellt – durch eine Ansteuereinheit **6** und einen Antrieb **7**, die beide mit dem abschattenden Element **3** in Verbindung stehen, gesteuert. Die jeweilige Stellung des abschattenden Elementes **3** wird durch einen lageabhängigen Stellwertgeber **8** (Encoder), der an den Antrieb **7** gekoppelt ist, festgestellt.

**[0063]** In alternativen Ausführungen der Erfindung kann die Bewegung der Abrasterung auch durch einen Schrittmotor mit oder ohne Stellwertgeber **8** erfolgen. Durch eine definierte Anzahl von ausgeführten Schritten des Schrittmotors, ebenfalls realisiert durch die Ansteuereinheit **6**, kann eine Lagekontrolle bei der Abrasterung erreicht werden.

**[0064]** Die Information darüber, an welcher Position der Durchtritt des Teilstrahlenbündels **22** durch das abschattende Element **3** erfolgt, erlaubt die räumliche Zuordnung der Messwerte zu einem bestimmten Flächenbereich im Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2**.

**[0065]** Die Veränderung der Position der Öffnung **31** führt jeweils zur Erzeugung eines neuen Teilstrahlenbündels **22**, das einer Position innerhalb des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **2** zugeordnet ist.

**[0066]** Jede Position der Öffnung **31** kann somit eineindeutig innerhalb eines geeigneten Koordinatensystems bestimmt werden. Damit ist ebenfalls die relative Lage der Öffnung **31** innerhalb des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **2** festgelegt und jeder Messwert kann genau einem Ausschnitt aus dem Querschnitt **21** eindeutig zugeordnet werden. Die Bestimmung der jeweiligen Position erfolgt anhand der messtechnischen Erfassung der Position des Antriebs **7** mittels des Stellwertgebers **8** mindestens einer als Normallage definierten Ausrichtung des abschattenden Elements **3** und der zur Bewegung des abschattenden Elements **3** durch die von der Ansteuereinheit **6** erzeugten Steuerbefehle.

**[0067]** Messdaten, bestehend aus einem Messwert der Messeinrichtung **4** und einer Position der Öffnung **31**, werden elektronisch in der Speicher- und Auswerteeinheit **5** abgespeichert und stehen für nachfolgende Auswertungsschritte zur Verfügung. Um eine räumliche Auflösung der Messdaten über den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** zu erhalten, werden die Messdaten einer Anzahl von Teilstrahlenbündeln **22** über ihre jeweils zugehörige Position aufgetragen. Die erzielbare räumliche Auflösung der Messdaten verhält sich reziprok zu den Abmaßen der Öffnung **31**.

**[0068]** Das abschattende Element **3**, dessen bevorzugte Ausführung in [Fig. 2](#) gezeigt ist, befindet sich in [Fig. 1](#) – zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Messprinzips – in einer Stellung, in der eine sehr kleine Öffnung **31** (in [Fig. 2](#) und [Fig. 4](#) als Feinloch **36** bezeichnet) in den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** eingreift.

**[0069]** In einer weiteren Ausführung der erfindungsgemäßen Anordnung können mehrere Öffnungen **31**, in dem abschattenden Element **3** (wie beispielhaft in [Fig. 2](#) gezeigt) vorhanden sein. Das jeweils von dem Feinloch **36** herrührende Teilstrahlenbündel **22** wird in der Messeinrichtung **4** auf einen separaten Detektor **41** (bzw.



auf eine Gruppe eng benachbarter Detektorelemente, z. B. einer CCD-Kamera) abgebildet. Dabei muss gewährleistet sein, dass entweder jeweils nur ein einziges Teilstrahlenbündel **22** in die gesamte Messeinrichtung **4** eintritt oder dass mehrere eintretende Teilstrahlenbündel **22** durch mehrere separate Detektoren **41** oder Bereiche eines Detektors **41** diskriminiert werden können. Um die Intensität zusätzlich zu dämpfen und/oder im Sinne eines Bandpassfilters spektral zu begrenzen, kann vor dem Detektor **41** der Messeinrichtung **4** ein Absorptionsfilter **42** angeordnet sein. Das Absorptionsfilter **42** ist vorzugsweise direkt auf die strahlungsempfindliche Fläche des Detektors **41** der Messeinrichtung **4** aufgebracht.

**[0070]** Das abschattende Element **3** – wie in [Fig. 2](#) gezeigt – ist als eine drehbare Blendenplatte **33** ausgebildet und hat mehrere kleine, als gleichgroße Feinlöcher **36** gestaltete Öffnungen **31**, die auf verschiedenen, nicht-überlappenden Bahnen **34** um die Rotationsachse **32** der Blendenplatte **33** bewegt werden. Es ist von Vorteil, wenn die einzelnen Feinlöcher **36** so angeordnet sind, dass zu jedem Zeitpunkt jeweils nur eines der Feinlöcher **36** den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** durchquert und pro Zeitintervall nur ein Teilstrahlenbündel **22** auf dem Detektor **41** abgebildet wird. Außerdem können einige oder alle Feinlöcher **36** voneinander verschiedene Abmaße ausweisen.

**[0071]** Durch die Rotation der Blendenplatte **33** um die Rotationsachse **32**, die außerhalb des Strahlenbündels **2** und parallel zu dessen optischer Achse **11** angeordnet ist, wird erreicht, dass sich die einzelnen Feinlöcher **36** auf gekrümmten, bevorzugt kreisförmigen, Bahnen **34** über den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** bewegen.

**[0072]** Die Feinlöcher **36** sind innerhalb des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **2** in annähernd horizontaler oder vertikaler Richtung geführt.

**[0073]** Für die Bewegung der drehbaren Blendenplatte **33** ist es wichtig, dass die einzelnen Messungen mit solchen Teilstrahlenbündeln **22** erfolgen, die den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** mit einer für den jeweiligen Zweck ausreichenden räumlichen Auflösung (z. B. durch räumliche Bündelbegrenzung) abbilden und sich dabei nicht gegenseitig überlappen.

**[0074]** Im Falle der Verwendung einer CCD-Kamera oder der Verwendung einer Kombination eines fluoreszierenden Leuchtschirms mit einer VIS-Kamera als Messeinrichtung **4** geschieht die Separation durch die laterale Auflösung des Messsystems. Bei einzelnen Dioden wird sichergestellt, dass nur jeweils ein Loch des Lochrasters beleuchtet wird.

**[0075]** Die Position(en) der mindestens einen Öffnung **31** des abschattenden Elements **3**, kann über den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** beliebig verändert werden. Die einzelnen Positionen der Öffnungen **31** bewegen sich aber in jedem Fall regelmäßig entlang kreisförmiger oder spiralförmiger Bahnen **34**. Diese Bahnen **34** können von der jeweiligen Öffnung **31** kontinuierlich oder schrittweise abgefahren werden.

**[0076]** Als Messeinrichtung **4** wird ein für die im Strahlenbündel **2** interessierende Strahlung empfindlicher großflächiger Detektor **41** verwendet. Weiterhin können aber auch andere für die zu messende Strahlung empfindliche Messmittel, wie z. B. CCD- oder CMOS-Arrays, Diodenzeilen und Diodenarrays oder hinter Strahlungswandlern oder fluoreszierenden Leuchtschirmen **43** angeordnete Detektoren **41** anderer spektraler Empfindlichkeit (UV-, VIS-, IR-Kameras o. ä.) oder Photonen-zähler **412** (wie zu [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) beschrieben), verwendet werden.

**[0077]** Das abschattende Element **3**, wie es in [Fig. 2](#) vollständig ausgeführt ist, trägt auf unterschiedlichen, kreisförmigen Bahnen **34** mit den Radien  $r_i$  Öffnungen **31** in Form von Feinlöchern **36** mit einem einheitlichen Durchmesser  $d_1$ . Der Durchmesser  $d_1$  der Feinlöcher **36** ist hierbei der zu erwartenden Intensität der Strahlung und der gewünschten lateralen Auflösung in der abzutastenden Ebene (Messebene) sowie der Empfindlichkeit und dem Dynamikbereich der Messeinrichtung **4** angepasst. Die Radien  $r_i$  der Bahnen **34** bestimmen sich zu

$$r_i = r_1 + i - 1(\Delta r) \text{ (mit } i = 1, 2, \dots, n),$$

wobei  $n$  die Anzahl der Bahnen **34** und  $\Delta r$  der radiale Abstand zweier benachbarter Bahnen **34** zueinander sind. Auf jeder Bahn **34** befindet sich genau ein Feinloch **36**. Die Feinlöcher **36** sind je Bahn **34** um einen Winkel  $\Phi$  zueinander versetzt, so dass sich eine von innen nach außen verlaufende spiralförmige Anordnung ergibt und die Feinlöcher **36** auf der Blendenplatte **33** (ähnlich einer aus der Fernsehtechnik bekannten Nipkow-Scheibe) verteilt sind. Je nach Rotationsrichtung der Blendenplatte **33** wird der Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** mittels der auf den Bahnen **34** geführten Feinlöchern **36**, abhängig von der Drehrichtung der Blendenplatte **33**,

von innen nach außen oder von außen nach innen abgerastert. Der Winkel  $\Phi$  wird so gewählt, dass zu jedem Zeitpunkt jeweils nur ein Feinloch **36** über den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** geführt wird. Der radiale Abstand  $\Delta r$  hängt ebenfalls von der gewünschten lateralen Auflösung ab und muss so gewählt sein, dass mit einer gewünschten Anzahl von Bahnen **34** ein gewünschtes Gebiet, dass größer als die zu messende laterale Verteilung der Strahlungsintensität sein soll, vollständig abgedeckt ist.

**[0078]** Von der vorstehend beschriebenen spiraligen Anordnung der Feinlöcher **36** kann in weiteren Ausführungen der Erfindung abgewichen werden. Es sind ebenso Anordnungen möglich, bei der mehrere Feinlöcher **36** auf ein und derselben kreisförmigen Bahn **34** angeordnet sind und/oder auf verschiedenen Bahnen **34** Feinlöcher **36** unter demselben Winkel  $\Phi$  vorhanden sind. Die Abstände der einzelnen Bahnen **34** zueinander können ebenfalls variieren.

**[0079]** Unter Festlegung einer Normallage der Blendenplatte **33** ist jedes Feinloch **36** auf der Blendenplatte **33** durch die Angabe einer zugehörigen Winkellage und eines Radius  $r_i$  eineindeutig bestimmt.

**[0080]** Weiterhin ist gemäß der Darstellung von [Fig. 2](#) auf der Blendenplatte **33** ein großer strahlungsdurchlässiger Bereich (Großloch **37**) mit einem Durchmesser  $d_2$  vorhanden, der einen völlig unabgeschatteten Durchlass des Strahlenbündels **2** erlaubt. Dieser ungehinderte Durchlass des Strahlenbündels **2** ist vorgesehen, wenn das Strahlenbündel **2** zur Bearbeitung von Werkstücken (nicht dargestellt) angewendet werden soll. Das Großloch **37** wird auf einem Großlochkreis **35** mit einem Radius  $R$  des Großlochkreises **35** geführt, der sich zu  $R = r_1 + (r_n - r_1)/2$  berechnet.

**[0081]** Es ist natürlich auch möglich, ganz auf das Großloch **37** zu verzichten. In diesem Fall muss die Blendenplatte **33** für Bearbeitungsaufgaben an einem Werkstück (nicht dargestellt) aus dem Strahlengang des Strahlenbündels **2** (zusammen mit der Messeinrichtung **4**) ausschwenkbar sein.

**[0082]** Die zum Abrastern des Querschnitts **21** benötigte Bewegung der Blendenplatte **33** wird mittels eines Schrittmotors als Antrieb **7** erzeugt, wobei die Blendenplatte **33** je Schritt um einen Winkel  $\Phi$  so gedreht wird, dass das zu dem jeweiligen Zeitpunkt über den Querschnitt **21** geführte Feinloch **36** um den Betrag seines Durchmessers  $d_1$  in Rotationsrichtung weiterbewegt wird. Alle anderen Feinlöcher **36** folgen zwangsgeführt um denselben Betrag des Winkels  $\Phi$ . Für die Erfassung der örtlich aufgelösten Messwerte der einzelnen Teilstrahlenbündel **22** ist die Messung zu definierten Zeitpunkten erforderlich, bei denen die Feinlöcher **36** um einen gewünschten Betrag bewegt wurden, der vorzugsweise gleich der Abmessung (z. B. gleich dem Durchmesser  $d_1$  der Feinlöcher **36**) in Bewegungsrichtung (Tangentialrichtung zur zugehörigen Bahn **34**) ist.

**[0083]** Rotiert die Blendenplatte **33** hingegen gleichförmig, sind Bewegungsrichtung und Bewegungsgeschwindigkeit der Feinlöcher **36**, die Integrationszeiten des Detektors **41** der Messeinrichtung **4** und ein eventuell vorhandenes Impulsregime der Strahlungsquelle **1** aufeinander abzustimmen. Des Weiteren sind während eines Messzyklus die Zeiten, zu denen das Großloch **37** über den Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** geführt wird, mit solchen Zeitintervallen zu synchronisieren, in denen keine Strahlung an der Blendenplatte **33** ankommt (sog. „burst gaps“).

**[0084]** Außerdem kann die Blendenplatte **33** in modifizierter Ausführung auch einige oder alle Feinlöcher **36** mit voneinander verschiedenen Abmaßen aufweisen. In einer solchen Ausführung der erfindungsgemäßen Anordnung können Feinlöcher **36**, die das nicht das Zentrum des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **22** durchqueren, einen größeren Durchmesser aufweisen, wodurch die nicht im Zentrum gemessenen Signale mit dem gleichen Signal-Rausch-Verhältnis gemessen werden wie die im Zentrum gemessenen. Randbereiche des Strahlenbündels **2** sind meist weniger intensiv, tragen aber aufgrund ihrer großen lateralen Flächenausdehnung zur gesamten Intensität der Strahlung bei.

**[0085]** Eine Ausführung für das systematische Abtasten (Abrastern) des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **2** ist unten mit Bezug auf [Fig. 3](#) beschrieben.

**[0086]** In [Fig. 3](#) ist das Prinzip der Abtastung des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **2** mit einem abschattenden Element **3** in Form einer Blendenplatte **33** gemäß [Fig. 2](#) dargestellt. Dabei wird ein interessierender Bereich (ROI – Region of Interest) durch den realen Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** im Ort der Blendenplatte **33** definiert, während ein Abtastraster **38**, das durch die fortschreitende Bewegung der als kreisförmig angenommenen Öffnungen **31** auf unterschiedlichen kreisförmigen Bahnen **34** zustande kommt, etwas größer gewählt, damit Schwankungen des Strahlenbündels **2** ebenfalls erfasst werden können.

**[0087]** Das Abtastraster **38**, entsteht durch die Drehung der Blendenplatte **33** mittels eines Schrittmotors als Antrieb **7**, der mit einem Motorschritt oder Teilschritt davon (z. B. Halbschrittmodus) den dem Abstand der Öffnungen **31** (Feinlöcher **36**) angepassten Schrittwinkel  $\Delta\Phi$  einstellt. Das führt zur Separation von Abtastpunkten **39** jeder mit der Blendenplatte **33** bewegten Öffnung **31** entlang der jeweiligen Bahn **34**. Bei der optoelektronischen Abtastung muss aber sichergestellt werden, dass der interessierende Bereich (ROI), den der zu vermessende Querschnitt **21** des Strahlenbündels **2** verkörpert, nicht größer als der trapezförmige Abtastbereich ist, für den in der Messeinrichtung **4** die Detektoren **41** synchronisiert ausgelesen werden. Das kann dadurch gewährleistet werden, dass eine IMF-Blende **14** nahe des abschattenden Elements **3** in den Strahlengang gebracht wird, die nicht größer als der trapezförmige Bereich der Abtastung ist.

**[0088]** Falls die Ausdehnung des Querschnitts **21**, d. h. der Bereich des Abtastrasters **38**, in dem ein messbares Intensitätsniveau auftritt, in Rotationsrichtung  $\geq \Phi \cdot r_i$  ist, würde eine nachfolgende Öffnung **31** bereits Anteile des Strahlenbündels **2** zur Messeinrichtung **4** transmittieren, während zur selben Zeit noch ein Teilstrahlenbündel **22** durch die vorhergehende, aktuell abtastende Öffnung **31** auf die Messeinrichtung **4** gerichtet ist. Mit Bezug auf [Fig. 2](#) heißt das, dass ein Feinloch **36** bereits in den Querschnitt **21** eintritt, während das zuvor durchquerende Feinloch **36** den Strahlquerschnitt **21** noch nicht verlassen hat. Ein solcher Fall ist nur zulässig, wenn in der Messeinrichtung **4** separate Detektoren **41** (oder Detektorgruppen) vorhanden sind, die diese unterschiedlichen Teilstrahlenbündel **22** räumlich getrennt erfassen können und sich die durchgelassenen Teilstrahlenbündel **22** nicht überschneiden.

**[0089]** In der Radialrichtung werden Abtastpunkte **39**, die einen Bereich zwischen

$$r_{\min} = r_0 - (n - 1)/2\Delta r$$

und

$$r_{\max} = r_0 + (n - 1)/2\Delta r$$

überschreiten, nicht gleichzeitig abgetastet und können demzufolge nicht zu kritischen oder verfälschenden Messwerten beitragen. Dabei ist  $r_0$  ein Radius der Bahn **34**, die durch den Mittelpunkt des interessierenden Bereichs verläuft.

**[0090]** Bei der oben erwähnten Verwendung eines Schrittmotors als Antrieb **7** muss die Scangeschwindigkeit der Feinlöcher **36** mit der Impulsfrequenz der Strahlungsquelle **1** synchronisiert sein und die Position der Blendenplatte **33** jeweils für nur einen Impuls der Strahlungsquelle **1** eingestellt werden.

**[0091]** Falls der Stellwertgeber **8** zur Messung der Position der Blendenplatte **33** verwendet wird, z. B. wenn statt eines Schrittmotors ein Servomotor verwendet wird, kann die Strahlungsmessung derart gesteuert werden, dass die Messeinrichtung **4** durch die Impulse der Strahlungsquelle **1** getriggert wird und die Messwerte der Messeinrichtung **4** zusammen mit der vom Stellwertgeber **8** gelieferten Position abgespeichert werden.

**[0092]** Aus der vom Stellwertgeber **8** erfassten Position und der bekannten Lage der Feinlöcher **36** auf der Blendenplatte **33** können dann in der Speicher- und Auswerteeinheit **5** die x- und y-Koordinaten der Abtastpunkte **39** im Abtastraster **38** sowie innerhalb des Querschnitts **21** des Strahlenbündels **2** bestimmt werden.

**[0093]** [Fig. 4](#) gibt eine zu [Fig. 1](#) modifizierte Ausführung an. Die in der Strahlungsquelle **1** erzeugte, durch einen Kollektor **15** entlang der optischen Achse **11** gebündelte und geformte Strahlung erreicht in einem Zwischenfokus **13** eine Leistung von ca. 200 W und stellt damit einen konjugierten (sekundären) Quellort dar. Dabei beträgt die EUV-In-Band-Intensität nach dem Kollektor **15**, die eine reelle bzw. virtuelle Apertur, z. B. eine IMF-Blende **14** (IMF: intermediate focus = Zwischenfokus) mit 4 mm Durchmesser, passiert, im Zwischenfokus **13** ca. 1600 W/cm<sup>2</sup> und fällt danach, abhängig von einem Divergenzwinkel  $\alpha$  des Strahlenbündels **2**, wieder ab.

**[0094]** Nachdem die vom primären Quellort **12** kommende Strahlung durch die IMF-Blende **14** (die zugleich einen Abschluss einer Vakuumkammer der Strahlungsquelle **1** gegenüber der Anwendung ist) die Strahlungsquelle **1** verlassen hat, bildet der Zwischenfokus **13** den Ausgangspunkt für das auszumessende divergierende Strahlenbündel **2**. Das Strahlenbündel **2** trifft danach in unmittelbarer Nähe zum Zwischenfokus **13** mit seinem gesamten Querschnitt **21** auf das abschattende Element **3** in Form einer Blendenplatte **33**, die in einem Messmodus die auftreffende Strahlungsenergie größtenteils absorbiert und nur durch einzelne Feinlöcher **36** einen Bruchteil der Strahlung hindurchlässt.

[0095] **Fig. 4** stellt allerdings eine besondere Stellung der Blendenplatte **33** zu einem Zeitpunkt dar, in dem ein Großloch **37** (siehe **Fig. 2**) das Strahlenbündel **2** über seinen gesamten Querschnitt **21** durch die Blendenplatte **33** hindurchtreten lässt. Das Strahlenbündel **2** unterliegt also bei dieser Stellung der Blendenplatte **33** keiner Abschattung und ist z. B. zur Bearbeitung eines Werkstückes (z. B. eines Wafers, nicht gezeigt) verfügbar. Die als abschattendes Element **3** eingesetzte Blendenplatte **33** ist in diesem Beispiel nach dem Zwischenfokus **13** angeordnet, sie kann aber auch nahe am Zwischenfokus **13** angeordnet sein und die danach eintretende Divergenz des Strahlenbündels **2** trotzdem zur Reduktion der Strahlungsdichte nutzen.

[0096] In der Ausführung gemäß **Fig. 4** ist der Detektor **41** zur optischen Achse **11** lateral beweglich angeordnet und für die oben beschriebene Stellung des Großlochs **37** der Blendenplatte **33** aus dem Strahlenbündel **2** ausgeschwenkt. Demzufolge zeigt **Fig. 4** für das erfindungsgemäße Messverfahren lediglich die Möglichkeit zur Realisierung eines Bearbeitungsmodus für das Strahlenbündel **2**. Als Messeinrichtung **4** wird in diesem Beispiel ein EUV-empfindlicher Detektor **41** verwendet, der zusätzlich mit einem Absorptionsfilter **42** zur Beseitigung von verfälschenden „Out-of-Band“-Spektralanteilen und gegebenenfalls zur Strahlungsdämpfung des im Messmodus (bei in die optische Achse **11** eingeschwenktem Detektor **41**) durchgelassenen Teilstrahlenbündels **22** versehen ist.

[0097] Eine äquivalente Lösung für die in **Fig. 4** gezeigte „Freischaltung“ des gesamten Strahlenbündels **2** besteht ferner darin, dass die Blendenplatte **33** – falls diese kein Großloch **37** aufweist – gemeinsam mit der Messeinrichtung **4** aus der optischen Achse **11** ausgeschwenkt wird (nicht gezeichnet) und auf diese Weise das gesamte Strahlenbündel **2** ungehindert zur Anwendung gelangt.

[0098] In einer weiteren Ausführung gemäß **Fig. 5** werden die durch die rotierende Blendenplatte **33** erzeugten Teilstrahlenbündel **22** auf einen Leuchtschirm **43**, der die einfallende Strahlung (z. B. energiereiche Laser-, Röntgen-, EUV-Strahlung etc.) des Teilstrahlenbündels **22** in eine (z. B. durch Fluoreszenz, Lumineszenz etc.) erzeugte Sekundärstrahlung **24** umwandelt, abgebildet und die abgegebene Sekundärstrahlung **24** mit einer Kamera **411** aufgenommen. Dabei kann vorteilhaft eine weitere Schwächung der intensiven energiereichen Strahlung der Teilstrahlenbündel **22** sowie eine Transformation des Wellenlängenbereichs (z. B. in den sichtbaren Spektralbereich – VIS o. Ä.) erreicht werden, wodurch herkömmliche CCD-Kameras verwendet werden können. Letztere ermöglichen eine hohe Ortsauflösung und somit die gleichzeitige Vermessung mehrerer separierbarer Teilstrahlenbündel **22** (verkürzte Messdauer für die Vermessung des gesamten Strahlungsbündels **2**), falls die Sekundärstrahlung **24** unterschiedlicher Teilstrahlenbündel **22** hinreichend klar räumlich separiert sind. Bei sehr schwacher Sekundärstrahlung **24** kann auch ein Photonen-zähler **412** (PMT bzw. SEV, in **Fig. 6** und **Fig. 7** gezeigt) anstelle der Kamera **411** eingesetzt werden.

[0099] In der Ausgestaltung gemäß **Fig. 6**, bei der angenommen wird, dass die Strahlungsquelle **1** extrem-ultraviolette (EUV-)Strahlung emittiert, koppelt ein reflektierendes optisches Element in Form eines für EUV-Strahlung geeigneten Mehrschichtspiegels **44** die sukzessive durch das abschattende Element **3** hindurchtretenden Teilstrahlenbündel **22** auf einen bezüglich der optischen Achse **11** seitlich angebrachten fluoreszierenden Leuchtschirm **43** aus. In Richtung des vom Mehrschichtspiegel **44** ausgekoppelten Strahlengangs ist nach dem Mehrschichtspiegel **44** ein Photonen-zähler **412** angeordnet. Die Blendenplatte **33** ist in einem konvergenten Bereich des Strahlenbündels **2** und vor einer IMF-Blende **14** angeordnet. Der Mehrschichtspiegel **44** kann generell auch durch andere strahlumlenkende Mittel, wie metallische Spiegel mit streifendem Lichteinfall oder Gitter ersetzt werden.

[0100] Bei der Ausführung der Erfindung mit einem konkaven Mehrschichtspiegel **44** gemäß **Fig. 6** handelt es sich um ein refokussierendes System, das den Vorteil einer Spektralfilterung bietet, bei der die „Out-of-Band“-Strahlung besser unterdrückt wird. Das reflektierende System verringert aber auch die „In-Band“-Strahlung im Verhältnis der Reflexionseigenschaften des Mehrschichtspiegels **44**.

[0101] Bei der Messung mit Mehrschichtsystemen in einem divergenten Bereich des Strahlenbündels **2** nach einem Zwischenfokus **13** ist zu beachten, dass der divergente Strahlverlauf zu unterschiedlichen Bragg-Winkeln  $\theta_B$  an einer Spiegeloberfläche und zu entsprechenden Wellenlängenverschiebungen führt.

[0102] Ein Lösungsansatz für dieses Problems liegt in der Verwendung eines als Gradienten-Mehrschichtspiegels (gradient multilayer coating) mit Doppelschichten ausgebildeten Mehrschichtspiegels **44**, bei dem sich die Schichtdicken in Abhängigkeit von der Lage über der Apertur ändern und auf den – für eine Punktlichtquelle – alle Strahlen auf den Mehrschichtspiegel **44** unter einem Bragg-Winkel  $\theta_B$  auftreffen, wenn die Schichtdicken der Doppelschichten für jeden Ort mit dem für den Einfallswinkel an dem jeweiligen Ort des Mehrschichtspie-

gels **44** erforderlichen Beugungsebenenabstand (sogenanntes „d-spacing“) für eine Bragg-Reflexion in Übereinstimmung sind.

**[0103]** Eine weitere Lösung ist die Anordnung des Mehrschichtspiegels **44**, des Zwischenfokus **13** sowie des Detektors **41** auf einem Rowland-Kreis **9** (letzterer in [Fig. 7](#) gestrichelt angedeutet). Diese Anordnung entspricht einer meridionalen 1:1-Abbildung des Zwischenfokus **13**, welcher sich auf dem Rowland-Kreis **9** befindet, in eine Bildebene (des Detektors **41**), die sich ebenfalls auf dem Rowland-Kreis **9** befindet.

**[0104]** Der Rowland-Kreis **9** ist dabei ein Kreis mit einem Durchmesser, der gleich dem meridionalen Radius  $R_m$  der Krümmung des Mehrschichtspiegels **44** ist und den Mehrschichtspiegel **44** in der Mitte seiner konkaven Spiegelfläche berührt (Rowland-Geometrie).

**[0105]** Der Abstand des Zwischenfokus **13** zur Mitte des Mehrschichtspiegels **44** ist gleich  $R_m \cdot \sin(\theta_{B0})$ , wobei  $\theta_{B0}$  der zentrale Bragg-Winkel (der Einfallswinkel des Mittelstrahls des Strahlenbündels **2** gemessen zur Tangentialebene an die reflektierende Oberfläche des Mehrschichtspiegels **44**) für einen direkt entlang der optischen Achse **11** auf den Mehrschichtspiegel **44** auftreffenden Strahl ist. Für alle außerhalb der optischen Achse **11** auftreffende Strahlen kann eine Beziehung der Abweichung  $\sigma(\alpha)$  der Bragg-Winkel  $\theta_B$  von dem zentralen Bragg-Winkel  $\theta_{B0}$  in Abhängigkeit von einem meridionalen Divergenzwinkel  $\alpha$  des divergenten Bereichs des Strahlenbündels **2** folgendermaßen approximiert werden kann:

$$\sigma(\alpha) = 1/(2 \cdot \tan(\theta_{B0})) \cdot \alpha^2 \quad (\alpha \text{ in rad}).$$

**[0106]** Für den halben Divergenzwinkel  $\alpha_{\max} = 16^\circ = 0,28 \text{ rad}$  führt dies zu den folgenden Abweichungen  $\sigma(\alpha)$  für die Zentralwellenlänge  $\lambda_0 = 13,5 \text{ nm}$ :

$\theta_{B0}$	$\alpha_{\max}$	$\sigma(\alpha_{\max})/\text{rad}$	$\Delta\lambda = \lambda_0 \cdot \sigma / \tan\theta_0$
45°	16°	0.0392 (2.25°)	0.53 nm
60°	16°	0.0226 (1.30°)	0.18 nm
70°	16°	0.0143 (0.82°)	0.07 nm
80°	16°	0.0069 (0.40°)	0.016 nm

**[0107]** Die Abweichung  $\sigma(\alpha)$  vom zentralen Bragg-Winkel  $\theta_{B0}$  kann also durch eine Anordnung eines sphärischen oder toroidischen, konkaven Mehrschichtspiegels **44** und des Zwischenfokus **13** in einer Rowland-Geometrie stark reduziert werden.

**[0108]** Bei der Rowland-Geometrie bleibt weiterhin der Umstand zu berücksichtigen, dass der Zwischenfokus **13** keine Punktlichtquelle darstellt, so dass die nicht zu vernachlässigende Zwischenfokusgröße für nichtzentrale Ausgangspunkte der Strahlen aus dem Zwischenfokus **13** zu Bragg-Winkel  $\theta_B$  führen, die vom zentralen Bragg-Winkel  $\theta_{B0}$  abweichen. In Abhängigkeit von der tatsächlichen Form und Ausdehnung des Zwischenfokus **13** kann dies signifikante Wellenlängenverschiebungen durch eine Bragg-Winkel-Verschiebung ( $\theta_B - \theta_{B0}$ ) verursachen. Es ist möglich, einen Kalibrierungsfaktor einzuführen, durch den das Verhältnis zwischen einem Messwert und einer tatsächlich einfallenden „In-Band“-Energie dargestellt wird. Solange jedoch die meridionale Breite des Zwischenfokus **13** zum Messwert des Detektors **41** (in [Fig. 6](#): des Photonenzählers **412**) beiträgt, verbleibt eine Abweichung des Bragg-Winkels  $\theta_B$ , die zu einer unerwünschten Varianz des Kalibrierungsfaktors führt.

**[0109]** Nur wenn unterscheidbar ist, welcher Anteil eines von dem Detektor **41** bereitgestellten Messwertes welcher lateralen Position innerhalb des Zwischenfokus **13** zuzuordnen ist, kann der geometrische Einfluss der Quellengröße auf den Bragg-Winkel  $\theta_B$  am Mehrschichtspiegel **44** mittels des Kalibrierungsfaktors korrigiert werden.

**[0110]** Genau diese Voraussetzung ist bei der erfindungsgemäßen Anordnung erfüllt, wenn die Blendenplatte **33** mit kleinen Öffnungen **31** (Feinlöchern **36** gemäß [Fig. 2](#)) den Zwischenfokus **13** aufeinanderfolgend an unterschiedlichen Abtastpunkten **39** abtastet und die jeweilige Position der Abtastpunkte **39** bekannt sind. Somit ist ein Mehrschichtspiegel **44** in Rowland-Geometrie für eine räumlich hochauflösende Abtastung einer spektral eng begrenzten energiereichen Strahlung, wie z. B. EUV-Strahlung im Spektralband von  $13,5 \text{ nm} \pm 2\%$ , geeignet, da alle Messfehler hinreichend gut korrigiert und somit reduziert werden können.



**[0111]** In einer weiteren Ausführung der erfindungsgemäßen Anordnung kann eine spezielle Gradientenmehrschicht-Beschichtung des Mehrschichtspiegels **44** verwendet sein, in der sich die Schichtdicke in Abhängigkeit von der Apertur des Mehrschichtspiegels **44** ändert und alle von einer Punktlichtquelle (Zwischenfokus **13**) ausgesendeten Strahlen den Mehrschichtspiegel **44** unter solchen Bragg-Winkeln  $\theta_B$  treffen, für die der Schichtabstand der Doppelschichten angepasst ist.

**[0112]** Bei der Ausführung der Messeinrichtung **4** gemäß [Fig. 6](#) ist außerdem die Verwendung eines Mehrschichtspiegels **44** für einen Bearbeitungsmodus des Strahlenbündels **2** bestens geeignet, da ausschließlich der Mehrschichtspiegel **44** lateral zur optischen Achse **11** beweglich angeordnet sein muss, um ein unabgeschattetes Strahlenbündel **2** durch ein Großloch **37** der Blendenplatte **33**, wie in [Fig. 4](#) dargestellt, freigegeben zu können.

**[0113]** Anstelle des Photonen Zählers **412** kann gemäß [Fig. 6](#) auch eine Photodiode oder eine Kamera **411** mit davor angeordnetem Leuchtschirm **43**, wie in [Fig. 5](#) dargestellt, oder ohne Leuchtschirm **43**, wie aus [Fig. 4](#) zu entnehmen, eingesetzt werden.

**[0114]** Das erfindungsgemäße Verfahren und die beschriebenen Anordnungen ermöglichen es, mit einfachen Mitteln, räumlich hochauflösende Messungen in einem hohen Leistungstransportierenden Strahlengang durchzuführen und dabei auch übliche optoelektronische Messmittel (z. B. eine CCD-Kamera) zu verwenden. Zudem sind die tatsächlich im Querschnitt **21** eines Strahlenbündels **2** vorliegenden Strahlungsparameter direkt ortsbezogen messbar. Eine schwenkbare Anordnung der Messeinrichtung **4** oder einzelner Teile davon (wie Spiegel, Gitter, anderer strahlauskoppelnder Elemente oder Detektoren **41** und gegebenenfalls Leuchtschirme **43**), erleichtern die Aufrechterhaltung eines für die Erzeugung und Anwendung der EUV-Strahlung notwendigen Vakuums, da die Messeinrichtung **4** vollständig innerhalb der Vakuumkammer (stilisiert als gestrichelte Linie der Strahlungsquelle **1** angegeben) verbleiben kann.

**[0115]** Die Erfindung kann in einer Vielzahl von Anwendungen für die Vermessung von Strahlenbündeln Verwendung finden, insbesondere bei der Überprüfung der Strahlqualität in EUV-Lithographie- und Laserbearbeitungsanlagen.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Strahlungsquelle
<b>11</b>	optische Achse
<b>12</b>	Quellort
<b>13</b>	Zwischenfokus
<b>14</b>	IMF-Blende
<b>15</b>	Kollektor
<b>2</b>	Strahlenbündel
<b>21</b>	Querschnitt
<b>22</b>	Teilstrahlenbündel
<b>23</b>	Ausbreitungsstrecke
<b>24</b>	Sekundärstrahlung
<b>3</b>	abschattendes Element
<b>31</b>	Öffnung
<b>32</b>	Rotationsachse
<b>33</b>	Blendenplatte
<b>34</b>	Bahnen (der Öffnungen um die Rotationsachse)
<b>35</b>	Großlochkreis
<b>36</b>	Feinloch
<b>37</b>	Großloch
<b>38</b>	Abtastraster
<b>39</b>	Abtastpunkte
<b>4</b>	Messeinrichtung
<b>41</b>	Detektor
<b>411</b>	Kamera
<b>412</b>	Photonenzähler
<b>42</b>	Absorptionsfilter
<b>43</b>	Leuchtschirm
<b>44</b>	Mehrschichtspiegel

<b>5</b>	Speicher- und Auswerteeinheit
<b>6</b>	Ansteuereinheit
<b>7</b>	Antrieb
<b>8</b>	Stellwertgeber
<b>9</b>	Rowland-Kreis
$\alpha$	Divergenzwinkel
$\theta_B$	Bragg-Winkel
$\theta_{B0}$	zentraler Bragg-Winkel
$\Phi$	Winkel
$\Delta\Phi$	Schrittwinkel
$R_m$	meridionaler Radius
$d_1$	Durchmesser (der Feinlöcher <b>36</b> )
$d_2$	Durchmesser (des Großlochs <b>37</b> )
$R$	Radius (des Großlochkreises <b>37</b> )
$r_i$	Radius (der Bahnen <b>34</b> )
$r_0$	Radius
$\Delta r$	radialer Abstand

### Patentansprüche

1. Verfahren zur räumlich aufgelösten Messung von Parametern in einem Querschnitt eines Strahlenbündels energiereicher Strahlung mit hoher Intensität, bei dem an einer interessierenden Stelle des Strahlenbündels Strahlungsanteile auf eine Messeinrichtung ausgekoppelt werden, mit den folgenden Schritten

- Abschatten des Strahlenbündels (**2**) durch ein abschattendes Element (**3**), so dass der Querschnitt (**21**) des Strahlenbündels (**2**) auf dem abschattenden Element (**6**) abgebildet wird;
- Auskoppeln von Teilstrahlenbündeln (**22**) mit jeweils gegenüber dem Strahlenbündel (**2**) reduziertem Querschnitt und verringerter Intensität mittels mindestens einer im abschattenden Element (**3**; **33**) befindlichen Öffnung (**31**; **36**);
- zeitlich aufeinanderfolgendes Zerlegen des Strahlenbündels (**2**) in unterschiedlich positionierte Teilstrahlenbündel (**22**) durch Bewegung der mindestens einen Öffnung (**31**; **36**) des abschattenden Elements (**3**; **33**) zu unterschiedlichen Positionen innerhalb des Querschnitts (**21**) des auszumessenden Strahlenbündels (**2**) mittels einer rotierend ausgeführten Bewegung des abschattenden Elements (**3**; **33**), wobei die Zerlegung durch die mindestens eine Öffnung (**31**; **36**) des abschattenden Elements (**3**) an einem optischen Knoten (**12**; **13**) einer Strahlungsquelle (**1**) vorgenommen wird und die Intensitätsmessung mittels der Messeinrichtung (**4**) in einem divergierenden Bereich des Strahlenbündels (**2**) nach dem optischen Knoten (**12**; **13**) erfolgt;
- zeitlich aufeinanderfolgendes Erfassen von Messwerten der durch die mindestens eine Öffnung (**31**; **36**) transmittierten Teilstrahlenbündel (**22**) mit einer Messeinrichtung (**4**) in Form eines großflächig im Querschnitt (**21**) des Strahlengangs (**2**) messenden Detektors (**41**) und Erfassen der zugehörigen Position der Teilstrahlenbündel (**22**) im Querschnitt (**21**) des Strahlenbündels (**2**) in Abhängigkeit einer vorgegebenen Bahn (**34**) der Öffnung (**31**; **36**) infolge der rotierenden Bewegung des abschattenden Elements (**3**; **33**) und
- Speichern von Messdaten aus Messwerten und zugeordneten Positionen der sukzessiv erfassten Teilstrahlenbündel (**22**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zerlegung des auszumessenden Strahlenbündels (**2**) in Teilstrahlenbündel (**22**) durch die Öffnung (**31**; **36**) des abschattenden Elements (**3**) an einem Zwischenfokus (**13**) einer Strahlungsquelle (**1**) erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zerlegung des auszumessenden Strahlenbündels (**2**) in Teilstrahlenbündel (**22**) durch die Öffnung (**31**; **36**) mit Hilfe einer Rotationsbewegung des abschattenden Elements (**3**; **33**) um eine zur optischen Achse (**11**) des Strahlenbündels (**2**) parallelen Rotationsachse (**32**) erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reduzierung der Intensität des die Öffnung (**31**; **36**) passierenden Teilstrahlenbündels (**22**) durch Anordnen des abschattenden Elements (**3**; **33**) in einem divergenten Bereich des Strahlenbündels (**2**) erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reduzierung der Intensität des die Öffnung (**31**; **36**) passierenden Teilstrahlenbündels (**22**) erfolgt, indem das abschattende Element (**3**; **33**) in einem konvergenten Bereich des Strahlenbündels (**2**) vor einem Zwischenfokus (**13**) der Strahlungsquelle (**1**) und



die Messeinrichtung (4) in einem divergenten Bereich des Strahlenbündels (2) nach dem Zwischenfokus (13) angeordnet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reduzierung der Intensität des die Öffnung (31; 36) passierenden Teilstrahlenbündels (22) durch eine Verlängerung der Ausbreitungsstrecke (23) des Teilstrahlenbündels (22) bis zur Messeinrichtung (4) erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Zeitpunkt genau eine Öffnung (31; 36) über den Querschnitt (21) des Strahlenbündels (2) geführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Zeitpunkt mehr als eine Öffnung (31; 36) über den Querschnitt (21) des Strahlenbündels (2) geführt wird und eine Diskriminierung der Messwerte der jeweils gleichzeitig erzeugten Teilstrahlenbündel (22) durch separierte Detektorbereiche der Messeinrichtung (4) erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Aufnahme eines Messwertes dann getriggert wird, wenn sich die Position der mindestens einen Öffnung (31) auf ihrer Bahn (34) gegenüber einer Position einer vorhergehenden Aufnahme um einen Betrag verändert hat, der mindestens der Ausdehnung der Öffnung (31) in Bewegungsrichtung entspricht.

10. Anordnung zur räumlich aufgelösten Messung von Parametern in einem Querschnitt eines Strahlenbündels energiereicher Strahlung mit hoher Intensität, enthaltend eine Strahlungsquelle, die ein zu vermessen- des Strahlenbündel aussendet, ein Strahlungsanteile aus dem Strahlenbündel auskoppelndes Element und eine Messeinrichtung zur Messung der aus dem Strahlenbündel ausgekoppelten Strahlungsanteile, dadurch gekennzeichnet, dass

- das Strahlungsanteile auskoppelnde Element als ein abschattendes Element (3; 33) ausgebildet ist, durch das das zu vermessende Strahlenbündel (2) über seinen Querschnitt (21) abschattet ist und das mindestens eine Öffnung (31; 36) zum Durchlassen eines Teilstrahlenbündels (22) aufweist;

- das abschattende Element (3; 33) im Strahlenbündel (2) in der Nähe eines optischen Knotens (12; 13) der Strahlungsquelle (1) so drehbar angeordnet ist, dass die mindestens eine Öffnung (31; 36) auf einer vorbestimmten Bahn (34) in unterschiedlichen Bereichen des Querschnitts (21) des Strahlenbündels (2) beweglich ist, wobei aufgrund der Bewegung der mindestens einen Öffnung (31; 36) entlang der vorbestimmten Bahn (34) hinter der mindestens einen Öffnung (31) zeitlich aufeinanderfolgend Teilstrahlenbündel (22) mit unterschiedlichen Positionen innerhalb des Querschnitts (21) auf die großflächig in einem divergierenden Bereich des Strahlenbündels (2) messende Messeinrichtung (4) gerichtet sind;

- die Messeinrichtung (4) im divergierenden Bereich des Strahlenbündels (2) nach einem optischen Knoten (12; 13) der Strahlungsquelle (1) dem abschattenden Element (3; 33) in einem solchen Abstand nachgeordnet ist, dass die Teilstrahlenbündel (22) zur Aufnahme von Messwerten der energiereichen Strahlung soweit geschwächt sind, dass eine um mehrere Größenordnungen verringerte Intensität der Strahlung gegenüber der am Ort der Öffnung (31; 36) im Querschnitt (21) des Strahlenbündels (2) vorhanden ist, und

- Mess- und Steuermittel zur Steuerung des abschattenden Elements (3; 33) zur Positionserfassung der mindestens einen Öffnung (31; 36) innerhalb des Querschnitts (21), zur Synchronisation der Messwerterfassung der Messeinrichtung (4) mit der Bewegung des abschattenden Elements (3; 33) und zur Zuordnung der Messwerte der Teilstrahlenbündel (22) zu den unterschiedlichen Positionen der mindestens einen Öffnung (31; 36) vorhanden sind, um ortsabhängig gemessene Parameter aus dem Querschnitt (21) des Strahlenbündels (2) zu erhalten.

11. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das abschattende Element (3; 33) eine Rotationsachse (32) aufweist, die außerhalb der optischen Achse (11) und außerhalb des Strahlenbündels (2) angeordnet ist.

12. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das abschattende Element (3; 33) mehrere Öffnungen (31) aufweist, die auf unterschiedlichen Bahnen (34) um die Rotationsachse (32) durch den Querschnitt (21) des Strahlenbündels (2) geführt sind.

13. Anordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Öffnungen (31) Feinlöcher (36) gleicher Größe sind.

14. Anordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Öffnungen (31) durch Feinlöcher (36) und Großlöcher (37) unterschiedlicher Größe gebildet sind.

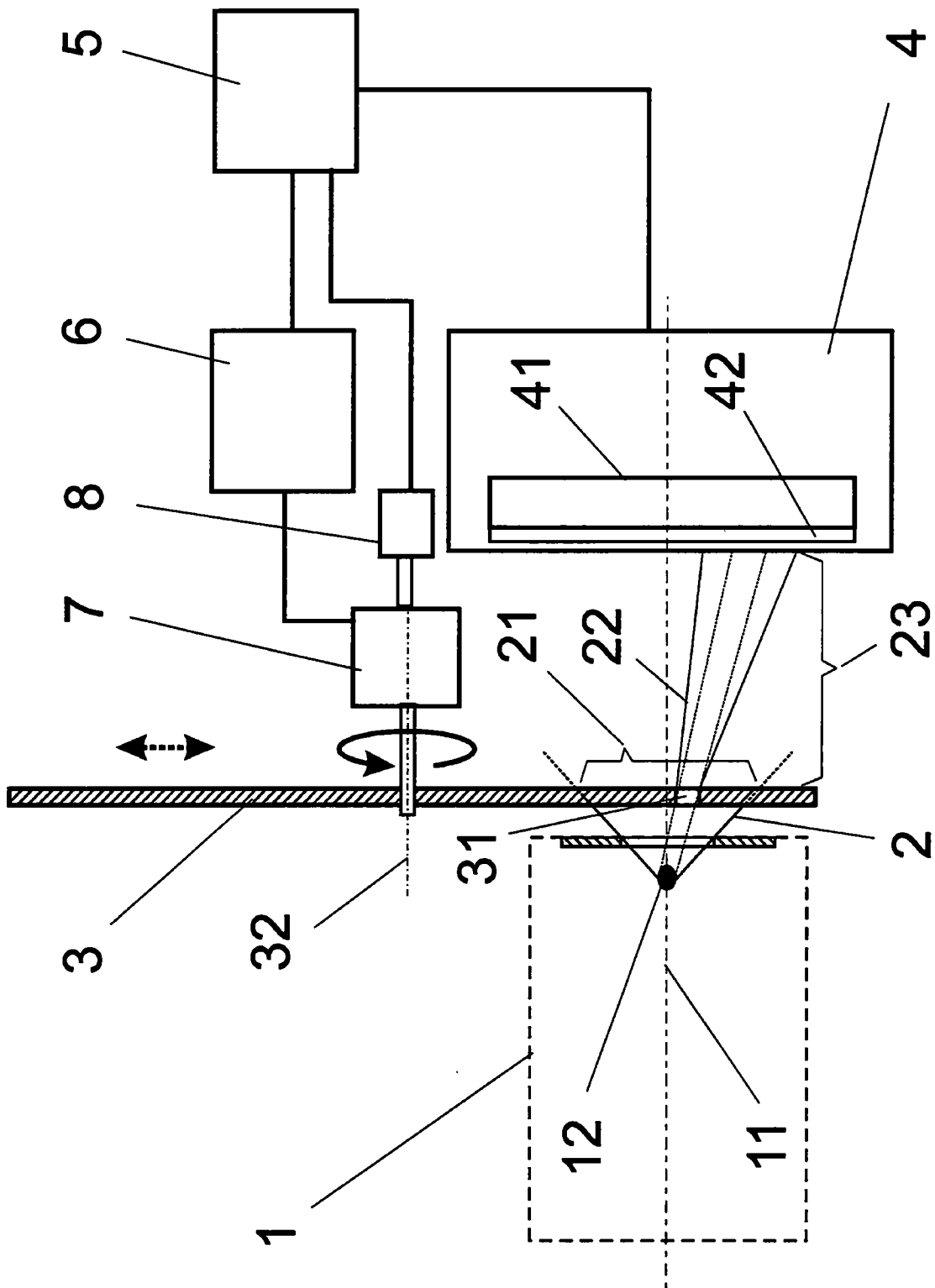
15. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinrichtung (4) einen Detektor (41) und einen vor dem Detektor (41) angeordneten Leuchtschirm (43) aufweist.

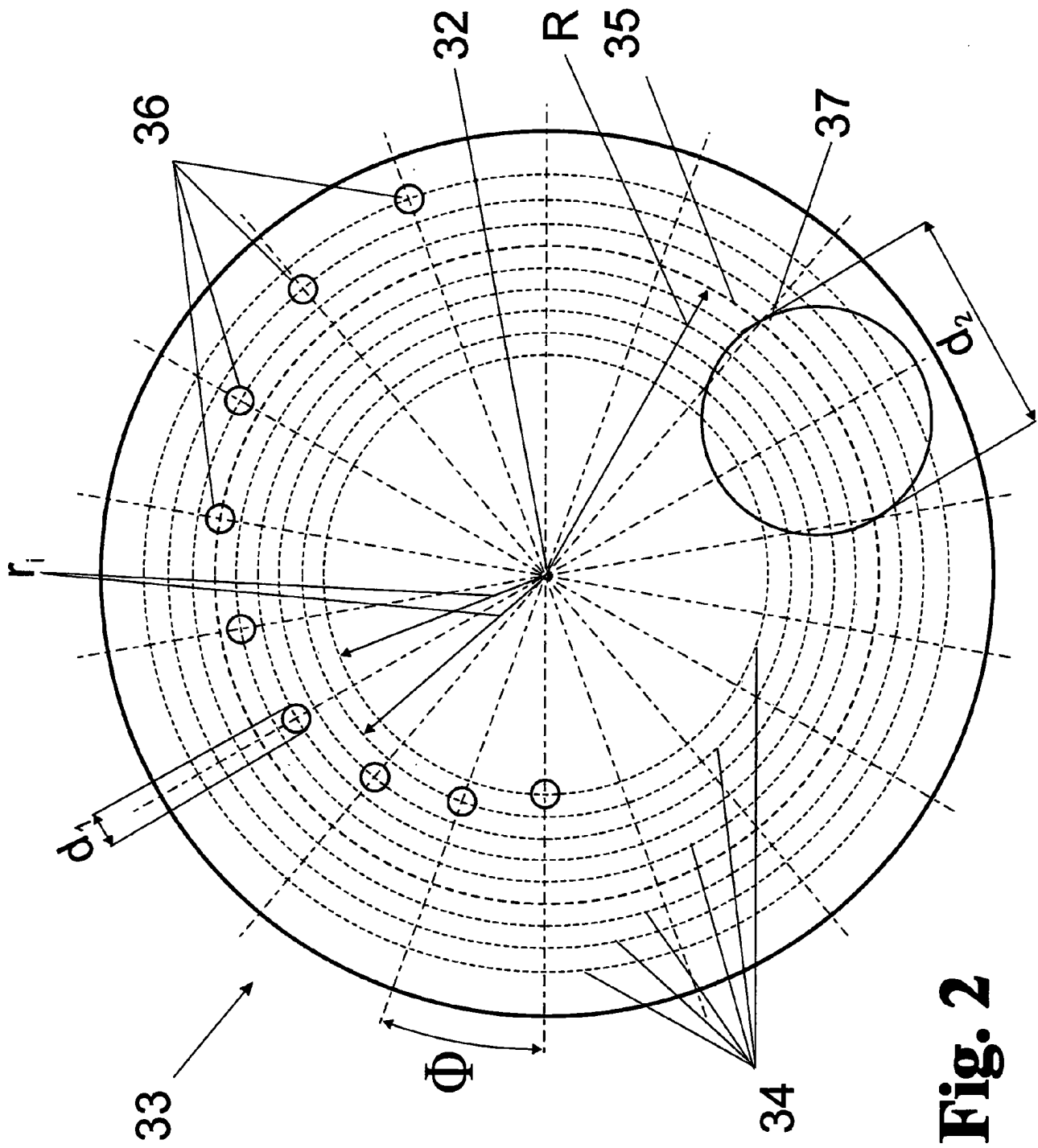
16. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinrichtung (4) ein strahlables optisches Element zur Umlenkung der Teilstrahlenbündel (22) auf einen außerhalb der optischen Achse (11) angeordneten Detektor (41) aufweist.

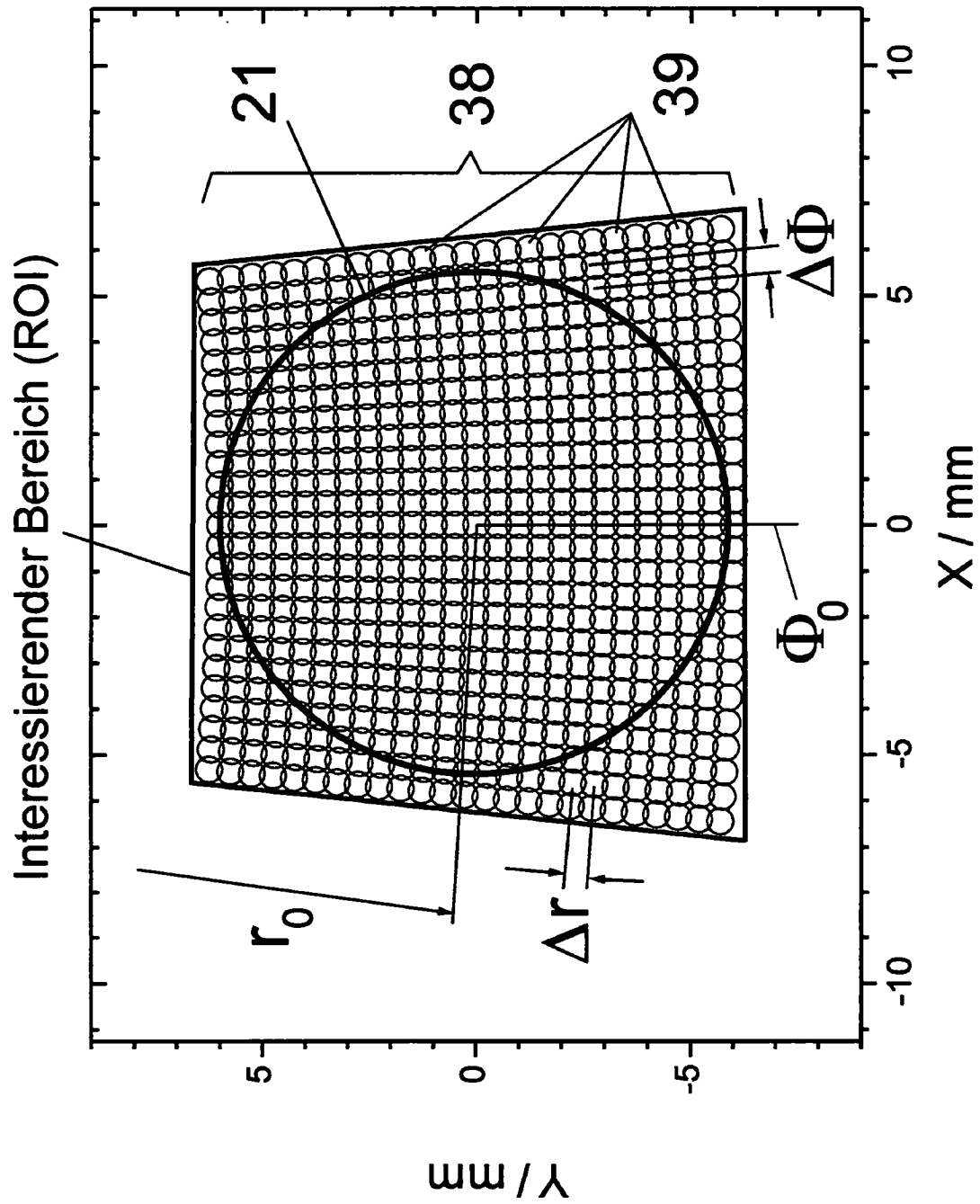
17. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Zwischenfokus (13), der Mehrschichtspiegel (44) und der Detektor (41) auf einem Rowland-Kreis (9) angeordnet sind, der den Mehrschichtspiegel (44) in der Mitte seiner konkaven Spiegelfläche berührt.

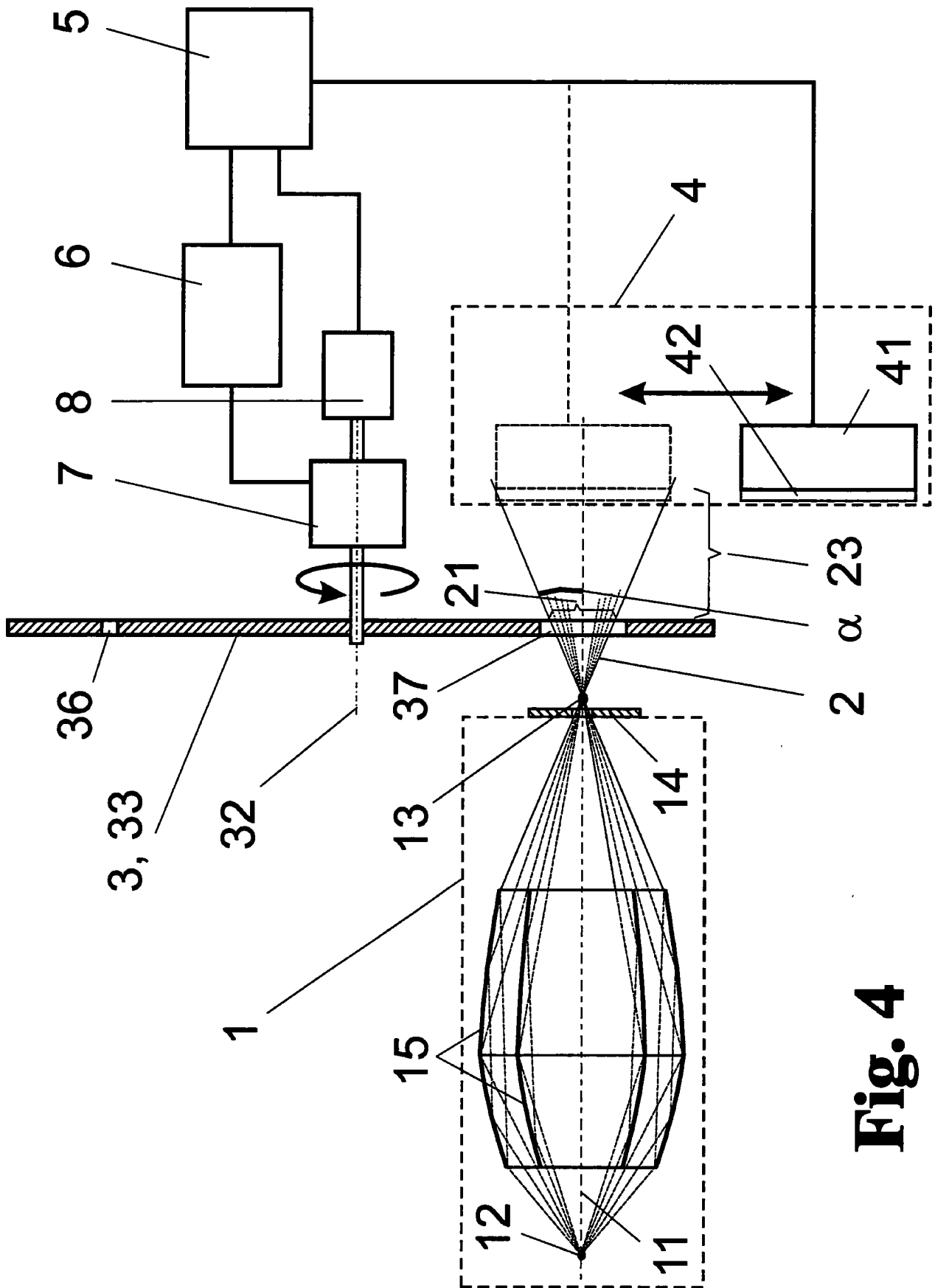
Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

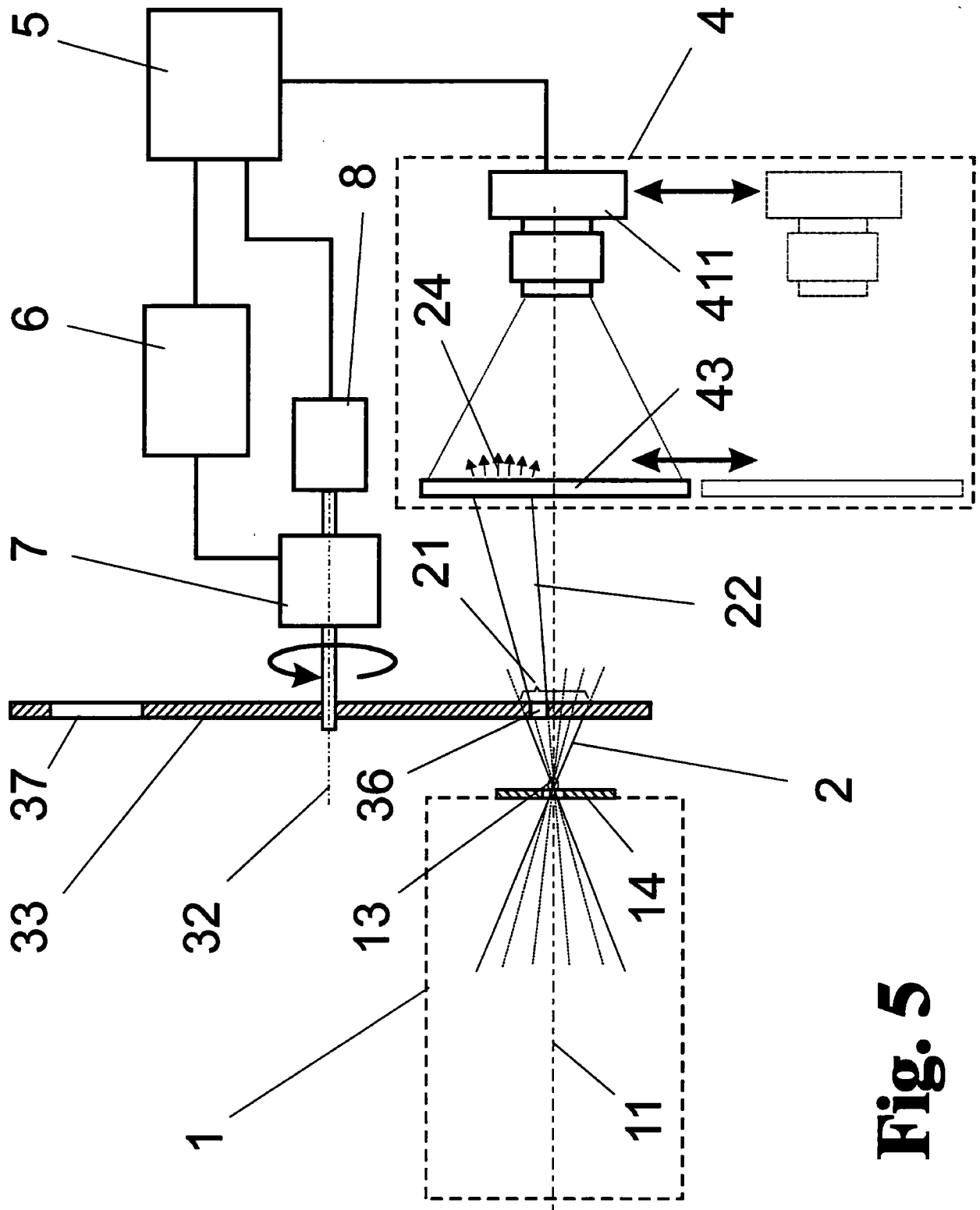




**Fig. 3**

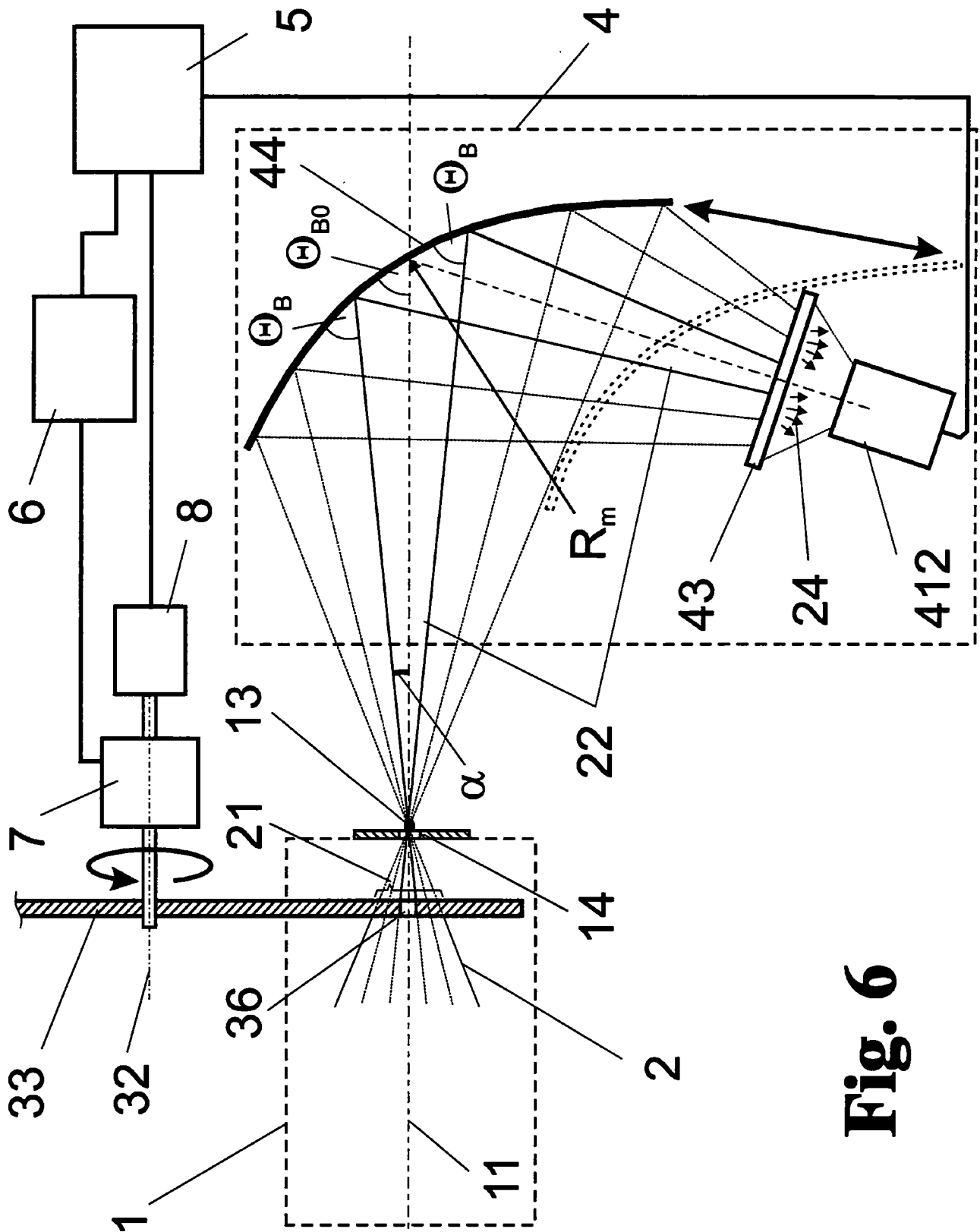


# Fig. 4

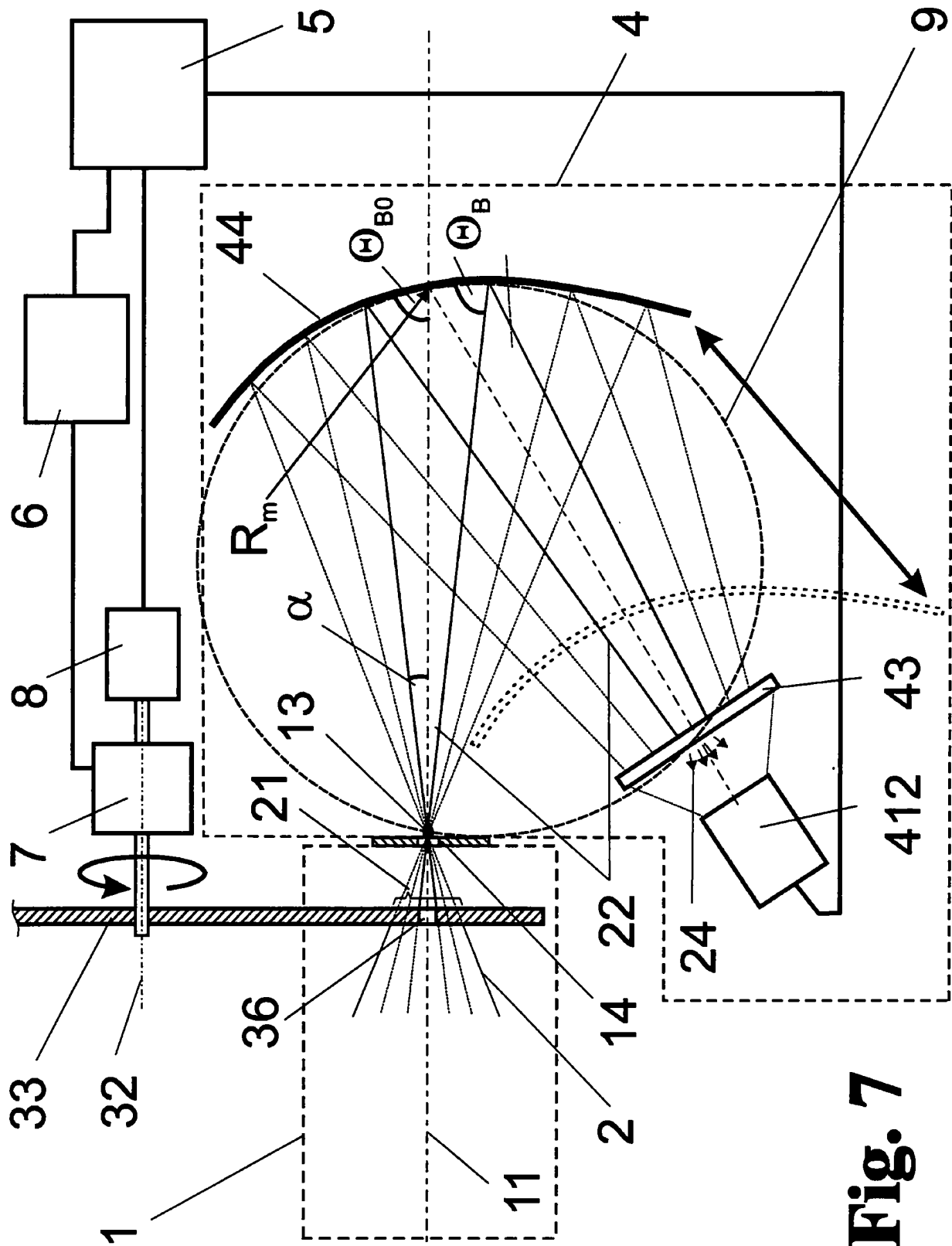


**Fig. 5**





**Fig. 6**



**Fig. 7**