

Patentansprüche:

1. Anordnung zum Messen polarisationsoptischer Gangunterschiede, bestehend aus einer Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung des zu untersuchenden Objektes, einem Polarisator und einem ersten, vorzugsweise achromatischen Viertelwellen-Retarder zum Erzeugen zirkular polarisierten Lichtes, einem zweiten, vorzugsweise achromatischen Viertelwellen-Retarder zur Wiederherstellung linear polarisierten Lichtes, einem nachgeschalteten Analysator, sowie einem optischen System zur Abbildung des untersuchten Objektes auf einer das Meßfeld begrenzenden Blende, hinter der ein photoelektrischer Empfänger mit einer Nachweiselektronik angeordnet ist, **gekennzeichnet dadurch**, daß zwischen einem Objekt (3) und einem zweiten Viertelwellen-Retarder (4) ein optisch aktives transparentes Bauelement (3') angeordnet ist und daß an sich bekannte mechanische, elektrische oder magnetische Mittel vorgesehen sind, mit denen das Azimut der Schwingungsrichtung des dieses Bauelement verlassenden Lichtbündels kontinuierlich verändert wird.
2. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß als optisch aktives Bauelement (3') eine senkrecht zu ihrer optischen Achse geschnittene Quarzplatte (3' a) vorgesehen ist, die keilförmig ausgebildet und in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse der Anordnung verschiebbar ist.
3. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß als optisch aktives Bauelement (3') eine zweite und dritte Quarzplatte (3' b, 3' c) vorgesehen und diese Quarzplatten senkrecht zu ihrer optischen Achse geschnitten, gleichsinnig drehend, keilförmig mit dem gleichen Keilwinkel ausgebildet und gegenläufig so zueinander orientiert sind, daß sie zusammen eine planparallele Platte bilden, und daß beide keilförmigen Quarzplatten gegenläufig in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse der Anordnung verschiebbar sind.
4. Anordnung nach Anspruch 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß die erste Quarzplatte (3' a) mit einem Glaskeil (3' d) so verkittet ist, daß eine planparallele Platte entsteht.
5. Anordnung nach Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Brechzahl des Glaskeiles (3' d) annähernd gleich der Brechzahl n_{ω} der ersten Quarzplatte (3' a) ist.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung findet in optischen Geräten und Anordnungen Anwendung, mit denen bei der Messung der anisotropen optischen Eigenschaften zur Analyse des Phasenbestandes oder der Strukturen der untersuchten Gebilde oder Substanzen zirkular polarisiertes Licht zur azimutunabhängigen Darstellung des von der untersuchten Probe hervorgerufenen Gangunterschiedes eingesetzt wird. Ein markantes Anwendungsgebiet der Erfindung ist die Polarisationsmikroskopie z. B. bei der statischen oder ortsabhängigen Untersuchung anisotroper Festkörper oder gerichteter biologischer Substanzen.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Zum Bestimmen polarisationsoptischer Gangunterschiede sind eine Reihe objektiv messender Anordnungen bekannt geworden. Bei einer Lösung nach DE-OS 29 16 202 wird das hinter einem Wollaston-Prisma entstehende Interferenzmuster hinsichtlich Amplitude und Phasenlage mit einem Dioden-Array aufgenommen, und aus den Meßwerten wird die Elliptizität des Lichtes bestimmt. In einer weiteren Lösung (Journ. Micr. 139 [1985] 239... 247) werden die mit einem Photometer gewonnenen Intensitätswerte in Abhängigkeit von der Analysatordrehung mit einem 64-K-Rechner einer harmonischen Analyse unterworfen und der Gangunterschied nach der Sénarmont-Methode berechnet. Bekannt ist auch eine Lösung zur schnellen und genauen Messung des Gangunterschiedes. Hierbei dient nach DE-OS 3631 959 als Lichtquelle ein transversaler stabilisierter Zeeman-Laser; gemessen wird die zeitliche Verschiebung von Schwebungsknoten als Funktion des Objekt-Gangunterschiedes. Allen genannten Lösungen gemeinsam ist die erforderliche azimutale Orientierung der Probe zur Meßanordnung, da mit linear polarisiertem Licht gearbeitet wird. Somit ist ein höherer Geräte- und Arbeitsaufwand notwendig. Es ist auch eine Lösung bekannt, mit der zirkular polarisierte Strahlung über elektro- und magneto-optische Kristalle zu Modulationszwecken in linear polarisierte Strahlung mit konstant rotierender Schwingungsebene umgewandelt wird (DE-OS 1797 378). Bekannt ist auch eine Lösung, die Tardy-Methode, die eine subjektive Meßmethode ist (Brit. Journ. Appl. Phys. 3 [1952] 176... 181) und nur monochromatisches Licht verwendet. Sie ist sehr zeitaufwendig, da sie in vielen Einzelschritten von gegenläufig gedrehten Polaren das Intensitätsminimum aufsucht und in dieser Lage mit einem Sénarmont-Kompensator mißt.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist die Schaffung einer Anordnung zum Messen polarisationsoptischer Gangunterschiede, mit der die Bestimmung von Gangunterschieden erleichtert, die genannten Nachteile der bekannten Lösungen beseitigt werden und die mit geringem technisch-ökonomischem Aufwand herstellbar ist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zum Messen polarisationsoptischer Gangunterschiede an anisotropen Objekten zu schaffen, die auch bei beliebiger azimuthaler Lage des Objektes eine objektive Messung erlaubt. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einer Anordnung zum Messen polarisationsoptischer Gangunterschiede, bestehend aus einer Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung des zu untersuchenden Objektes, einem Polarisator und einem ersten, vorzugsweise achromatischen Viertelwellen-Retarder zum Erzeugen zirkular polarisierten Lichtes, einem zweiten, vorzugsweise achromatischen Viertelwellen-Retarder zur Wiederherstellung linear polarisierten Lichtes, einem nachgeschalteten Analysator sowie einem optischen System zur Abbildung des untersuchten Objektes auf einer das Meßfeld begrenzenden Blende, hinter der ein photoelektrischer Empfänger mit einer Nachweiselektronik angeordnet ist, dadurch gelöst, daß zwischen einem Objekt und einem zweiten Viertelwellen-Retarder ein optisch aktives transparentes Bauelement angeordnet ist und daß an sich bekannte mechanische, elektrische oder magnetische Mittel vorgesehen sind, mit denen das Azimut der Schwingungsrichtung des dieses Bauelement verlassenden Lichtbündels kontinuierlich verändert wird.

Vorteilhafte erfindungsgemäße Ausführungsformen bestehen darin, daß als optisch aktives Bauelement eine senkrecht zu ihrer optischen Achse geschnittene erste Quarzplatte vorgesehen ist, die keilförmig ausgebildet und in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse der Anordnung verschiebbar ist, oder als optisch aktives Bauelement eine zweite und dritte Quarzplatte vorgesehen ist und diese Quarzplatten senkrecht zu ihrer optischen Achse geschnitten, gleichsinnig drehend, keilförmig mit dem gleichen Keilwinkel ausgebildet und gegenläufig so zueinander orientiert sind, daß sie zusammen eine planparallele Platte bilden, und daß beide keilförmigen Glasplatten gegenläufig in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse der Anordnung verschiebbar sind.

Weiterhin ist es vorteilhaft, die erste Quarzplatte mit einem Glaskeil so zu verkitten, daß eine planparallele Platte entsteht. Vorzugsweise ist die Brechzahl des verwendeten Glaskeils annähernd gleich der Brechzahl n_0 der ersten Quarzplatte. Folgend wird die Wirkungsweise erläutert.

Das vom Polarisator linear polarisierte Lichtbündel mit dem Azimut $\alpha_p = 0$ seiner Schwingungsrichtung S_p wird vom ersten Viertelwellen-Retarder mit dem Azimut $\alpha_1 = \pi/4$ seiner Hauptschwingungsrichtung n_{z1} in ein zirkular polarisiertes Lichtbündel umgewandelt und passiert das anisotrope nichtabsorbierende Objekt mit dessen Hauptschwingungsrichtung n_{z0} in einem Azimut α_2 und der dem Gangunterschied proportionalen Phasendrehung δ_2 , so daß im allgemeinen ein elliptisch polarisiertes Lichtbündel mit einem Hauptachsenazimut $\pi/4 \pm \alpha_2$ und der Elliptizität $\epsilon = f(\delta_2)$ auf den zweiten Viertelwellen-Retarder mit dem Azimut $\alpha_3 = -\alpha_1$ der Hauptschwingungsrichtung n_{z2} trifft, wobei das Azimut der Schwingungsrichtung S_A des Analysators $\alpha_4 = \pi/2$ ist.

Die Intensität I nach dem Analysator berechnet sich zu

$$I = (E_0^2/2)(1 - \cos\delta_2) = E_0^2 \sin^2 \delta_2 / 2, \quad (1)$$

wobei E_0 die Amplitude des elektrischen Feldstärkevektors ist. Das anisotrope Objekt wird also unabhängig von seinem Schwingungsazimut α_2 kontrastiert.

Die dem Lichtbündel aufgeprägte Gesamt-Phasendifferenz R beträgt nach dem zweiten Viertelwellen-Retarder gemäß Gleichung

$$R = \pi/2 + \arctan(-\cos\delta_2 / \sin\delta_2 \sin 2\alpha_2). \quad (2)$$

Die interessierende Phasendifferenz δ_2 des Objektes wird einer Messung mit der weitgehend von systematischen Meßfehlern freien Kompensationsmethode nach Sénarmont zugänglich, wenn das von der Probe kommende Lichtbündel mit der Gesamt-Phasendifferenz R von dem Analysator linear polarisiert ist. Nach (2) ist das nur dann der Fall, wenn

$$R = n \cdot \pi \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots), \quad (3)$$

d. h., wenn $\alpha_2 = 0, \pi/2, \pi, \dots$ beträgt.

Dieser Fall kann aber nicht ohne weiteres erkannt werden, da nach (1) die beobachtete oder gemessene Intensität unabhängig vom Objekt-Azimut α_2 ist.

Durch die erfindungsgemäße Einführung des optisch aktiven transparenten Bauelements wird das Azimut der Hauptachse $\pi/4 - \alpha_2$ des das Objekt verlassenden elliptisch polarisierten Lichtbündels kontinuierlich verändert, bis die Hauptachse mit der Schwingungsrichtung n_{z2} des zweiten Viertelwellen-Retarders zusammenfällt. Zur Erkennung dieses Zustandes wird die Intensität I des Lichtbündels mittels rotierenden Analysators, einem in DD-WP 247 751 beschriebenen Polarisationsmodulator oder in anderer geeigneter Weise moduliert und das optisch aktive Bauelement durch an sich bekannte mechanische, elektrische oder magnetische Mittel manipuliert, bis der Kontrast K

$$K = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \sim \text{sinc } k \cdot \epsilon \quad (4)$$

(mit $k = \text{Wellenzahl}$ und $\text{sinc } k \cdot \epsilon = \sin k \cdot \epsilon / k \cdot \epsilon$)

seinen Maximalwert erreicht. Dann ist $\alpha_2 = 0, \pi/2, \pi, \dots$

In diesem Fall wandelt der zweite Viertelwellen-Retarder das einfallende elliptisch polarisierte Lichtbündel in ein linear polarisiertes Lichtbündel um, dessen Azimut β vom Gangunterschied (Phasendrehung) der Probe abhängig ist. Der Gangunterschied kann somit nach dem von Sénarmont bzw. MacCullagh angegebenen Verfahren gemessen werden, wobei das Azimut $\pi/4$ zwischen Analysatorschwingungsrichtung und Hauptschwingungsrichtung n_{z2} des zweiten Viertelwellen-Retarders zu berücksichtigen ist.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung

- Fig. 1: Teil des optischen Aufbaues gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels,
 Fig. 2: Teil des optischen Aufbaues gemäß eines zweiten Ausführungsbeispiels,
 Fig. 3: Anordnung der Schwingungsrichtungen von Objekt und polarisationsoptischen Bauteilen vor der Kompensation des Gangunterschiedes,
 Fig. 4: Anordnung der Schwingungsrichtungen von Objekt und polarisationsoptischen Bauteilen nach der Kompensation des Gangunterschiedes und
 Fig. 5: die erfindungsgemäße Anordnung im Strahlengang eines Polarisationsmikroskopes.

Ein Teil des optischen Aufbaues gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels ist in Fig. 1 gezeigt. Entlang einer optischen Achse sind nacheinander ein Linearpolarisator 1, ein erster, vorzugsweise achromatischer Viertelwellen-Retarder 2, ein Polarisationsmodulator 2', ein Objekt 3, ein optisch aktives Bauelement 3', ein zweiter, vorzugsweise achromatischer Viertelwellen-Retarder 4 und ein Analysator 5 angeordnet. Das optisch aktive Bauelement 3' ist erfindungsgemäß eingefügt und ein senkrecht zur optischen Achse der Anordnung verschiebbarer Quarzkeil.

In Fig. 2 sind in einem der Fig. 1 analogen Aufbau als optisch aktives Bauelement 3' eine zweite und eine dritte keilförmige Quarzplatte 3' b, 3' c vorgesehen.

Die Anwendung der erfindungsgemäßen Anordnung in einem Polarisationsmikroskop ist in Fig. 5 dargestellt.

Dem von einer aus Lichtquelle 16, Kollektor 15, Leuchtfeldblende 14, Telezlinse 13 und dem Kondensator 12 bestehenden Beleuchtungseinrichtung beleuchteten Objekt 3 sind ein Linearpolarisator 1 und ein erster, vorzugsweise achromatischer Viertelwellen-Retarder 2 so vorgeschaltet, daß auf das Objekt 3 ein zirkular polarisiertes, durch das Bild der Leuchtfeldblende 14 begrenztes Lichtbündel fällt. Nach dem Passieren des Objektes 3 ist dieses Lichtbündel elliptisch polarisiert; die Elliptizität ist ein Maß für die gesuchte Phasendrehung δ_2 . Erfindungsgemäß wird mit dem optisch aktiven Bauelement 3', das vorzugsweise aus einem senkrecht zur optischen Achse geschnittenen, mit einem ausgegleichenden Glaskeil 3' d angenäherter Brechzahl verbundenen und senkrecht zur optischen Achse der Anordnung verschiebbaren Quarzkeil 3' a besteht, das Hauptachsenazimut so gedreht, daß die Achsen der Schwingungsellipse mit den Hauptschwingungsrichtungen des zweiten, vorzugsweise achromatischen Viertelwellen-Retarders 4 zusammenfallen. Diesen zweiten Viertelwellen-Retarder 4 verläßt dann ein linear polarisiertes Lichtbündel mit einer der Phasendifferenz im Objekt 3 proportionalen Drehung β gegen die Hauptschwingungsrichtung n_{z2} des zweiten Viertelwellen-Retarders 4. Der Winkel $\beta = \delta_2/2$ wird durch Nachdrehen des Analysators 5 bis zur Auslöschung der linear polarisierten Schwingung gemessen.

Zum Bestimmen dieser Auslöschungslage dient die aus Meßfeldblende 6, abbildendem System 7, Photoempfänger 8 und Nachweiselektronik 9 bestehende photometrische Einrichtung; das zu messende Objekt 3 wird dabei von einem Objektiv 11 und einer Tubuslinse 10 auf die Meßfeldblende 6 abgebildet und von dieser begrenzt.

Zum Bestimmen des Maximalkontrastes wird das Lichtbündel mit dem Polarisationsmodulator 2' moduliert und das optisch aktive Bauelement 3' in der Ebene senkrecht zur optischen Achse der Anordnung so weit geschoben, bis der dem Kontrast entsprechende Anzeigewert auf der Nachweiselektronik 9 seinen Größtwert erreicht. Dann verläßt ein linear polarisiertes Lichtbündel den zweiten Viertelwellen-Retarder 4. Durch Drehen des Analysators 5 wird der Anzeigewert auf Null gebracht und damit die lineare Schwingung ausgelöst. Aus dem Drehwinkel des Analysators 5 wird die gesuchte Phasendrehung berechnet. Aus Fig. 3 und 4 ist die Lage der Schwingungsrichtungen der in Fig. 5 dargestellten polarisationsoptischen Bauteile des Polarisationsmikroskopes und des Objektes 3 vor und nach der Kompensation des Gangunterschiedes ersichtlich. Dabei sind S_P die Schwingungsrichtung des Polarisators 1, S_A die des Analysators 5, n_{z0} , n_{z1} , n_{z2} die Schwingungsrichtungen der langsameren Lichtwelle im Objekt 3, ersten Viertelwellen-Retarder 2 bzw. zweiten Viertelwellen-Retarder 4. α_1 , α_2 und α_3 sind die jeweiligen Azimute bezüglich der Schwingungsrichtung S_P des Polarisators 1, α_4 der Winkel zwischen den Schwingungsrichtungen von Polarisator 1 und Analysator 5. β ist das Azimut der wiederhergestellten linearen Schwingung, bezogen auf die Schwingungsrichtung n_{z2} des zweiten Viertelwellen-Retarders 4.

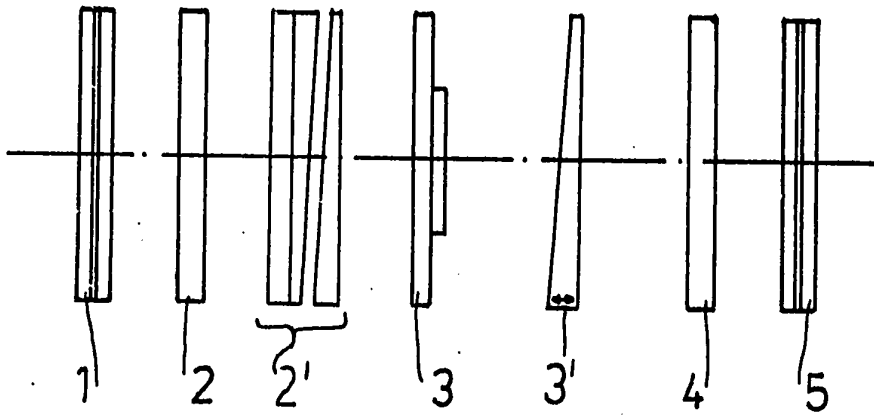


Fig. 1

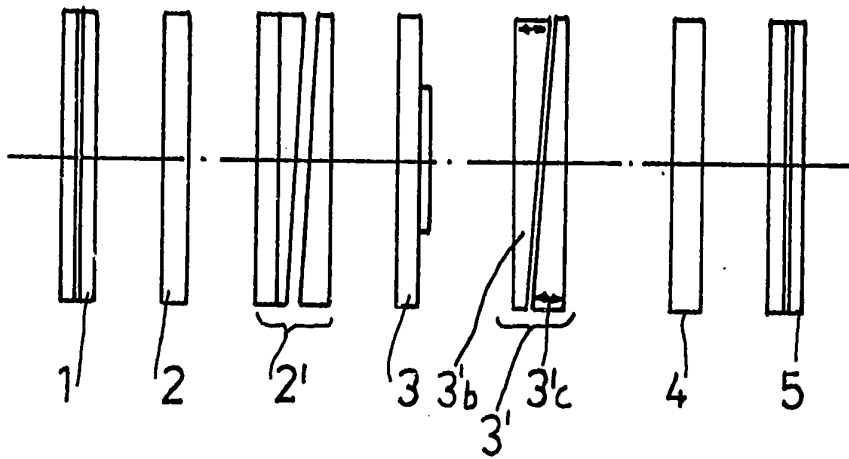


Fig. 2

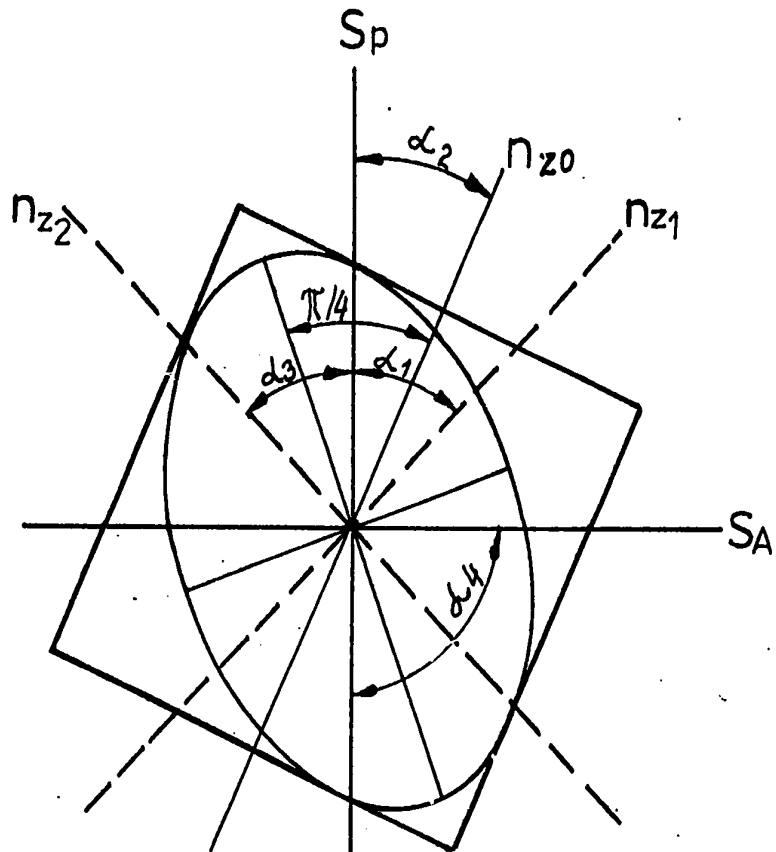


Fig. 3

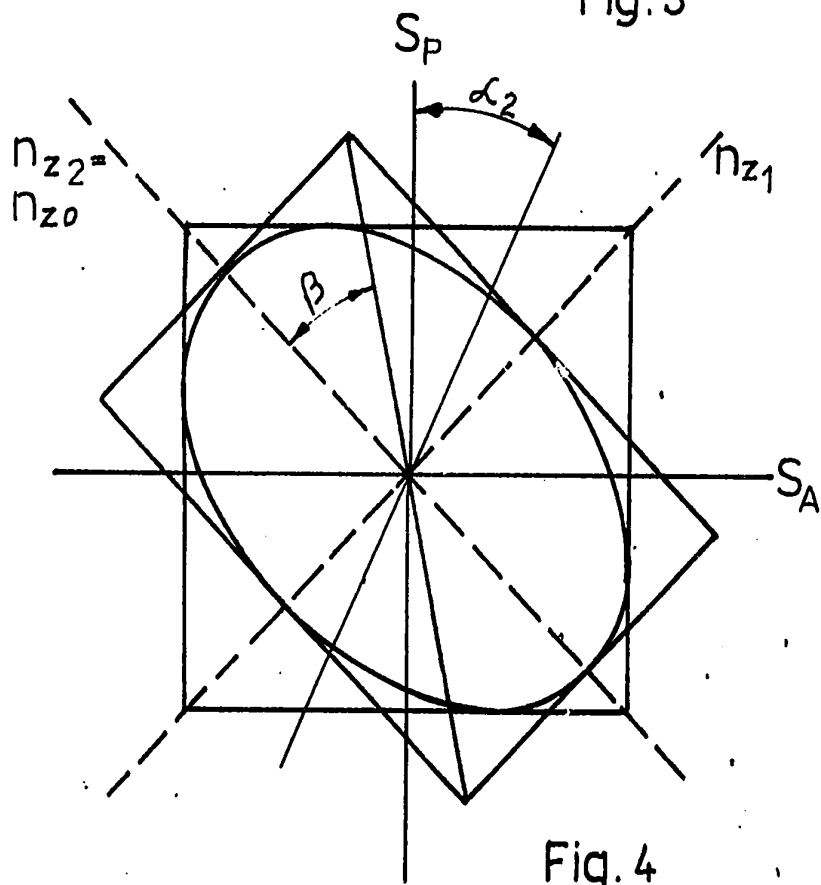


Fig. 4

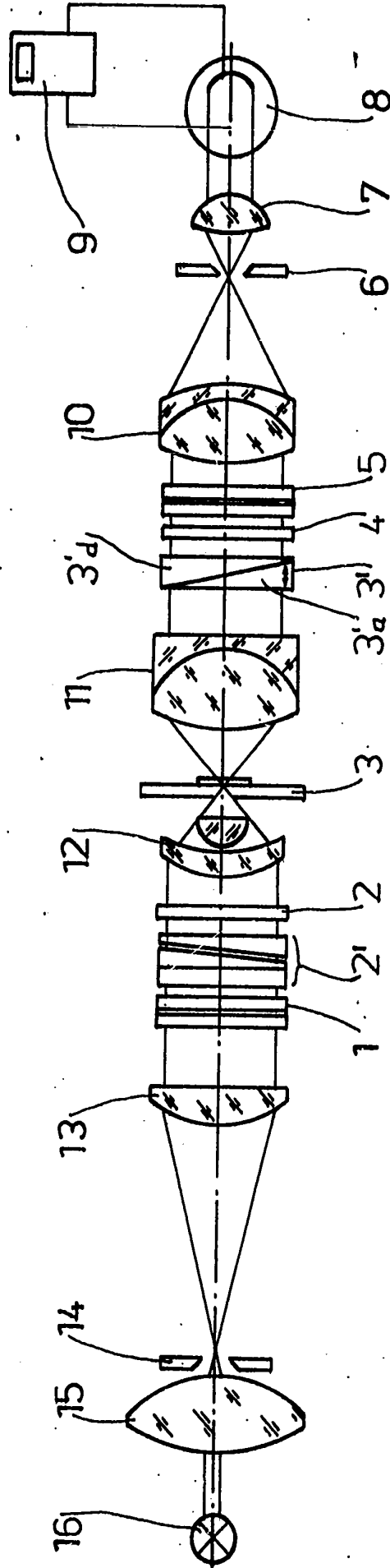


Fig. 5