



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 284 972 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 01 J 1/00

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD G 01 J / 329 401 2

(22) 09.06.89

(44) 28.11.90

(71) siehe (73)

(72) Kuka, Georg, Dr. Dipl.-Phys.; Schmidt, Dieter, Dipl.-Phys., DD

(73) Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhelm Pieck“, Wilhelminenhofstraße 76/77, Berlin, 1160, DD

(54) Verfahren zur Bestimmung der Nahfeldintensitätsverteilung von Lichtwellenleitern (LWL)

(55) Verfahren; Lichtwellenparameter; System; Nahfeld;
Abtastblenden; Achse; Abbildungssystem;

Lichtwellenleiterendfläche; Lichtleistung; Modulation

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung
der Nahfeldintensitätsverteilung von Lichtwellenleitern.

Erfindungsgemäß wird das zu messende Nahfeld eines
LWL nicht symmetrisch zur optischen Achse eines
Abbildungssystems ausgerichtet und durch das
Transmissionsverhalten von Abtast- und Zusatzblenden
wird die von einer Lichtwellenleiterendfläche abgestrahlte
Lichtleistung beeinflusst oder moduliert oder die
Modulation erfolgt infolge der Bewegung des LWL und die
von der Lichtwellenleiterendfläche abgestrahlte Leistung
oder ein Teil davon wird registriert. Fig. 1

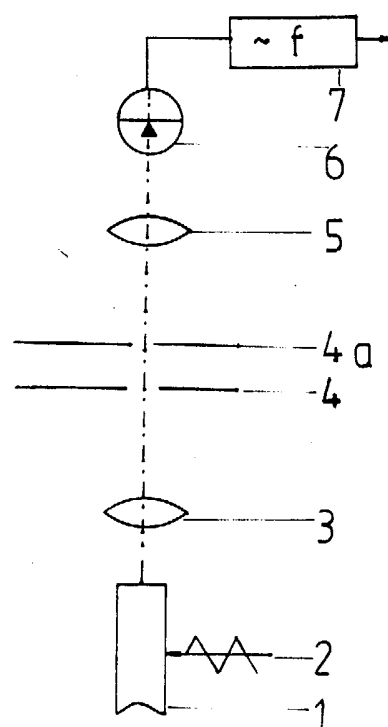


Fig. 1

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung der Nahfeldintensitätsverteilung von Lichtwellenleitern, bei dem das Bild der strahlenden Fläche eines LWL mit Hilfe in den Strahlengang eines optischen Systems eingebrachten Blenden abgebildet und ausgewertet wird, **gekennzeichnet dadurch**, daß das zu messende Nahfeld des LWL nicht symmetrisch zur optischen Achse des Abbildungssystems ausgerichtet ist und durch das Transmissionsverhalten der Abtastblenden (4) und Zusatzblenden (4a) die von einer LWL-Endfläche abgestrahlte Lichtleistung definiert beeinflußt oder moduliert wird oder die Modulation infolge der Bewegung des LWL erfolgt und die von der Lichtwellenleiterendfläche abgestrahlte Lichtleistung oder ein Teil davon registriert wird.
2. Verfahren zur Bestimmung der Nahfeldintensitätsverteilung von Lichtwellenleitern nach Patentanspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß Zusatzblenden (4a) eingesetzt werden, die bezüglich der vom Radius abhängigen Transmission reziprok, linear oder kubisch die Transmission ändern.
3. Verfahren zur Bestimmung der Nahfeldintensitätsverteilung von Lichtwellenleitern nach Patentanspruch 1-2, **gekennzeichnet dadurch**, daß bezüglich der azimuthalen Abhängigkeit Zusatzblenden (4a) eingesetzt werden, dessen Transmission eine oder zwei Perioden im Wertebereich des azimuthalen Winkels aufweist.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Nahfeldintensitätsverteilung von LWL, insbesondere von Lichtwellenleiterparametern und findet Anwendung bei der Prüfung und Charakterisierung sowohl von LWL und LWL-Kabeln als auch aus ihnen zusammengesetzten Strecken und der Technologie.

Charakteristik des bekannten Standes Technik

Die Erfassung des Nahfeldes ist zur Charakterisierung von LWL oft nötig, weil dadurch der Kerndurchmesser, die Symmetrie des Faseraufbaues, das Brechzahlprofil, die Modenleistungsverteilung oder der Modenfeldradius bestimmt werden können. Unter „Nahfeld“ versteht man die am Orte der senkrecht zur Faserachse hergestellten Schnittebene austretende Strahlungsleistung. Die zu untersuchende Schnittfläche wird vergrößert abgebildet und die Strahlung in der Abbildungsebene gemessen. Zur Messung dienen Charge-coupled-devices (CCD) in Form von Zeilen oder Matrizen oder Detektoren, die entlang der Abbildungsebene geführt werden. Bei CCD-Zeilenanordnungen ist das lokale Auflösungsvermögen ohnehin durch die endliche Anzahl der Sensorelemente begrenzt.

Insbesondere können übliche Detektoren dem Problem spektral besser angepaßt werden, was bei der Messung von monomodalen Lichtwellenleitern von Vorteil ist, weil nur geringe Lichtleistungen zur Auswertung zur Verfügung stehen.

Als Nachteil hat sich die Empfindlichkeit der Justage des Empfängers auf das Zentrum bzw. auf den Durchmesser der Verteilung und der Abtastung auf Störungen des abgebildeten Bereiches herausgestellt.

Zusätzlich muß man die Faser genau justieren können, weil eine hohe Meßgenauigkeit erzielt werden soll, wie zum Beispiel bei der Bestimmung des Modenfeldradius von etwa 5 Mikrometern mit einer Genauigkeit, die höher als 0,1 Mikrometer ist.

Bei bekannter Symmetrie des Nahfeldes ist es zur Erhöhung des nachzuweisenden Signals von Vorteil, nicht punktwise das Feld abzutasten, sondern durch Blenden alle Punkte gleicher Strahlungsleistung zu messen (DD 260987 A1) oder durch Rückrechnung zu berücksichtigen. Insbesondere ist bekannt, eine Blende schrittweise zu öffnen und die bezüglich der Fläche integrierte Strahlungsleistung zu messen.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein kostengünstiges, einfaches Verfahren mit geringem technischen Aufwand zur Bestimmung der Nahfeldintensitätsverteilung zu finden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem unabhängig von der Lage eines LWL zur optischen Achse des Abbildungssystems die Symmetrie der Nahfeldintensitätsverteilung und räumliche Verteilung hochgenau gemessen bzw. charakterisiert werden kann.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß das zu messende Nahfeld eines LWL nicht symmetrisch zur optischen Achse eines Abbildungssystems ausgerichtet ist und durch das Transmissionsverhalten von Abtast- und Zusatzblenden die von einer Lichtwellenleiterendfläche abgestrahlte Lichtleistung definiert beeinflußt oder moduliert wird oder die Modulation infolge

der Bewegung des LWL erfolgt und die von der Lichtwellenleiterendfläche abgestrahlte Lichtleistung oder ein Teil davon registriert wird.

Nach einem anderen Merkmal werden Zusatzblenden eingesetzt, die bezüglich der vom Radius abhängigen Transmission reziprok, linear oder kubisch die Transmission ändern.

Nach einem weiteren Merkmal werden bezüglich der azimuthalen Abhängigkeit Zusatzblenden eingesetzt, dessen Transmission eine oder zwei Perioden im Weitebereich des azimuthalen Winkels aufweisen.

Deckt man in der Ebene der vergrößerten Lichtwellenleiterendfläche einen Teil des Bildes ab und bewegt diese Blende um die optische Achse des Systems, so registriert man je nach Lage des LWL und Form der Blende veränderliche Signale.

Es ist verständlich, daß bei genauer zentrischer Lage des zylindersymmetrischen Strahlungsfeldes des Lichtwellenleiters azimuthale Bewegungen von Blenden die transmittierte Lichtleistung nicht modulieren.

Je nach Form der Blende können aber bei nichtzylindersymmetrischen Strahlungsfeldern bei der beschriebenen Bewegung der Blenden Modulationen der transmittierten Gesamtleistung auftreten. In erster Ordnung kann die Abweichung von der Zylindersymmetrie durch Ellipsen beschrieben werden.

Oft müssen die Meßgrößen aus der radialen Ableitung des Nahfeldes gewonnen werden, dann machen sich Dejustierungen des Lichtwellenleiters bezüglich der optischen Achse bei der korrekten Messung bemerkbar.

Im allgemeinen liegt eine Fehljustierung des Nahfeldes $P(x, y)$ sowohl in x-Richtung und y-Richtung in der Ebene senkrecht zur optischen Achse vor, die mit a bzw. b bezeichnet werden soll. Bezüglich dieser kleinen Änderungen wird die Nahfeldverteilung nach Taylor entwickelt.

$$P(x + a, y + b) = P(x, y) + \frac{\partial P(x, y)}{\partial x} a + \frac{\partial P(x, y)}{\partial y} b + \dots \quad (1)$$

Demnach ergeben sich bei Dejustierung Korrekturen, die mit den räumlichen Ableitungen des zu messenden Nahfeldes zusammenhängen. Diese Korrekturen bedingen Unsymmetrien des Feldes innerhalb der Abtastblende, die symmetrisch zur optischen Achse liegt.

Die Meßgröße bildet die Gesamtleistung $P_G(R)$, die durch die kreisförmige Abtastblende mit dem Radius R tritt, wobei durch Zusatzblenden $S(x, y)$ die Transmission des Lichtes geschwächt wird.

$$P_G(R) = \iint P(x + a, y + b) S(x, y) dx dy \quad (2)$$

Es ist von Vorteil, die Entwicklung der verschobenen Nahfeldverteilung in Polarkoordinaten darzustellen.

$$x = r \cos \varphi; y = r \sin \varphi$$

$$P(x + a, y + b) = P(r, \varphi) + a \left(\cos \varphi \frac{\partial P}{\partial r} - \frac{\sin \varphi}{r} \frac{\partial P}{\partial \varphi} \right) + b \left(\sin \varphi \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{\cos \varphi}{r} \frac{\partial P}{\partial \varphi} \right) + \dots \quad (3)$$

Üblicherweise werden durch Differentiation der Meßgröße $P_G(R)$ die Aussagen zum Nahfeld erhalten.

Erfindungsgemäß wird nun durch Wahl spezieller Blenden die Auswertung erleichtert. Ohne Zusatzblenden $S(x, y) = 1$ ergeben sich für die Meßgröße $P_G(R)$ erst Korrekturen in zweiter Ordnung in den kleinen Änderungen a oder b. Für zylindersymmetrische Felder $P(r)$ zum Beispiel muß die Taylorentwicklung durch Terme proportional a^2 ergänzt werden.

$$P(x + a, y + b) = P(r, \varphi) + a \left(\cos \varphi \frac{\partial P}{\partial r} \right) + a^2 \left(\cos^2 \varphi \frac{d^2 P(r)}{dr^2} + \sin^2 \varphi \frac{d^2 P(r)}{r dr} \right) + \dots \quad (3a)$$

Für zylindersymmetrische Nahfelder und ohne Zusatzblenden hebt sich bei Differenzmessungen mit verschiedenen Dejustierungen a_1 und a_2 der symmetrische Anteil fort und man erhält:

$$P_G^1(R) - P_G^2(R) = (a_1^2 - a_2^2) R \frac{dP(R)}{dR} \quad (4)$$

Meßtechnisch von Vorteil ist weiterhin die Dejustierung mechanisch mit der Frequenz f zu modulieren $a = a_0 + a_1 \sin 2\pi f t$. Dann läßt sich somit mit der Frequenz f oder 2f die Ableitung des Nahfeldes bestimmen.

Wählt man die radiale und azimuthale Transmission der Zusatzblenden unabhängig voneinander, so gilt

$$S(r, \varphi) = S(\varphi) s(r) \quad (5)$$

Zur Bestimmung des Modenfeldradius kann $s(r) = r/r_0$ und $(r/r_0)^3$ mit Vorteil eingesetzt werden.

Zur Diskussion der winkelabhängigen Transmission entwickelt man $S(\varphi)$ in eine Fourierreihe mit der Periode T.

$$S(\varphi) = S_0 + S_s \cos 2\pi/T\varphi + S_a \sin 2\pi/T\varphi + \dots \quad (6)$$

Für Zusatzblenden, die die Abtastblende von einem Winkel φ_0 ab zur Hälfte abdecken, erhält man (Bild 3a)

$$S_s = 2/\pi \sin \varphi_0 \text{ und } S_a = 2/\pi \cos \varphi_0$$

Beträgt die Periode der Zusatzblendenwinkelabhängigkeit π (Fig. 3b), wie sie sich zum Beispiel durch Abdeckung der Abtastblende von φ_0 bis $\varphi_0 + \pi/2$ und $\varphi_0 + \pi$ bis $\varphi_0 + 3/2\pi$ ergibt, so ist

$$S_s = 2/\pi \sin 2\varphi_0 \text{ und } S_s = 2/\pi \cos 2\varphi_0$$

Da die Meßgröße von der Lage und Form der Zusatzblenden abhängt, erhält man bei der Bewegung der Blenden oder einer zeitabhängigen Dejustierung eine entsprechende zeitabhängige Meßgröße.

$$S(r, \varphi) = S(\varphi) s(r) \quad (7)$$

$$P_G(R) = a \int_0^R \frac{dP(r)}{dr} r s(r) dr \int_0^{2\pi} S(\varphi) \cos \varphi d\varphi$$

Bewegt man eine Blende mit der Periode 2π mit der Kreisfrequenz ω_0 , so erhält man auch die Meßgröße mit der Frequenz f_0 . Die Terme zweiter Ordnung in a verschwinden:

$$P_G(R) = 2\pi a S_s \sin(2\pi f_0 t) \int_0^R (dP/dr) r S(r) dr. \quad (8)$$

Für $s(r) = r_0/r$ kann man somit bei der Grundfrequenz f_0 das Nahfeld direkt messen, da $P_G(R) \sim (P(R) - P(0))$ ist. Für den Modenfeldradius w muß die Blendenkombination $s = r/r_1$ und $s = (r/r_3)^3$ angewendet werden und gegen den Kernradius große Abtastblendenöffnung gemessen werden.

$$w^2 = 2 \left(\int_0^\infty (P(r) r^2 dr) / \int_0^\infty (P(r) r dr) \right).$$

Der Vorfaktor der Zusatzblenden r_1 und r_3 muß im Experiment bestimmt werden.

Zur Messung der Abweichung des Nahfeldes von der Zylindersymmetrie entwickelt man bzgl. der Winkelabhängigkeit φ das Feld $P(r, \varphi)$ ebenfalls in eine Fourierreihe

$$P(r, \varphi) = P(r) + P_1(r) \cos 2\varphi + \dots \quad (9)$$

Mit $S(\varphi) = S(\varphi + \pi)$ läßt sich der Anisotropieanteil P_1 aus der Beziehung (10) bestimmen.

$$P_G(R) = 2\pi S_s \sin(2 \cdot 2\pi f_0 t) \int_0^R P_1(r) r dr. \quad (10)$$

Zur direkten Bestimmung von $P_1(r)$ ist wiederum der Einsatz von Zusatzblenden mit radialer Transmissionsänderung proportional r^{-1} denkbar. Zur Bestimmung des Anisotropieanteils P_1 mit Hilfe der Beziehung 10 wurde eine Zusatzblende mit der Periode π bezüglich der azimuthalen Abhängigkeit verwendet. Dieser Anteil ist demnach auch mit der doppelten Modulationsfrequenz nachweisbar.

Die Terme, die proportional den Dejustierparametern a bzw. b sind, verschwinden bei dieser Symmetrie der Zusatzblende.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

Fig. 1: zeigt eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 2: zeigt eine graphische Darstellung der gemessenen Nahfeldleistungsverteilung.

Fig. 3: zeigt Zusatzblenden.

In Fig. 1 ist ein Meßaufbauschema des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Der Lichtwellenleiter ist mit einer Lichtwellenleiterhalterung 1 verbunden, die durch eine mechanische Modulationseinrichtung 2 bewegt werden kann. In der Abbildungsebene befindet sich die Abtastblende 4 und Zusatzblende 4a mit einem vom azimuthalen Winkel oder vom radialen Abstand von der optischen Achse abhängigen Transmissionsvermögen, eine Optik 5, die die transmittierte Leistung auf den Empfänger 6, beispielsweise einer Diode, fokussiert, wobei durch eine Optik 3 die Sendefläche zusätzlich vergrößert werden kann. Die Abtastblende 4 besitzt vorzugsweise einen variablen Durchmesser zur schrittweisen Abtastung des Strahlungsfeldes. Die Zusatzblende 4a ist in ihrer azimuthalen Lage veränderlich, um die Meßgröße zu modulieren. Das Dioden- bzw. Empfängersignal wird im Voltmeter 7 ausgewertet.

Zur Ermittlung der Modenleistungskopplungskoeffizienten in Multimodenlichtwellenleitern wird die Modenleistungsverteilung aus der Ableitung des Nahfeldes bestimmt. Durch Abtastblenden 4 läßt sich die Ableitung des Nahfeldes nach Beziehung 4 ermitteln.

Der Lichtwellenleiter wird fast auf die optische Achse des optischen Systems ausgerichtet. Der Abstand der LWL-Achse sei a_0 . Die Modulationseinrichtung 2 ändert periodisch den Abstand a mit der mechanischen Frequenz f ($2\pi f = \omega$).

$$a = a_0 + a_1 \sin \omega t$$

$$a^2 = a_0^2 + 2a_0 a_1 \sin \omega t - (a_1^2/2) \cos 2\omega t + (a_1^2)/2$$

Das selektive Voltmeter 7, daß das Empfängersignal 6 auswertet, wird auf die Frequenz f abgestimmt. Die durch die Abtastblende 4 tretende Gesamtleistung P_G hängt vom aktuellen Radius R der Abtastblendenöffnung ab und wird vom Empfänger 6 registriert, der im Brennpunkt der Optik 5 liegt.

In Fig. 2 wird die gemessene Nahfeldleistungsverteilung in Abhängigkeit von R^2 gezeigt. Die Darstellung wurde auf den Kernradius R_0 normiert. Die Meßkurven wurden akkumuliert und geglättet.

Die unterbrochene Kurve wurde nach Beziehung 4 durch Modulation des Abstandes von der optischen Achse erhalten. Die durchgezogene Kurve wurde bei bestmöglicher zentrischer Justierung ohne Modulationstechnik erhalten. Hierzu mußte die Meßgröße

$$P_G = \int_0^R R P(R) dR$$

zweimal differenziert werden.

Fig. 3 zeigt die Zusatzblenden mit der azimuthalen Periode π und 2π , aber ohne spezielle radial sich ändernde Transmission.

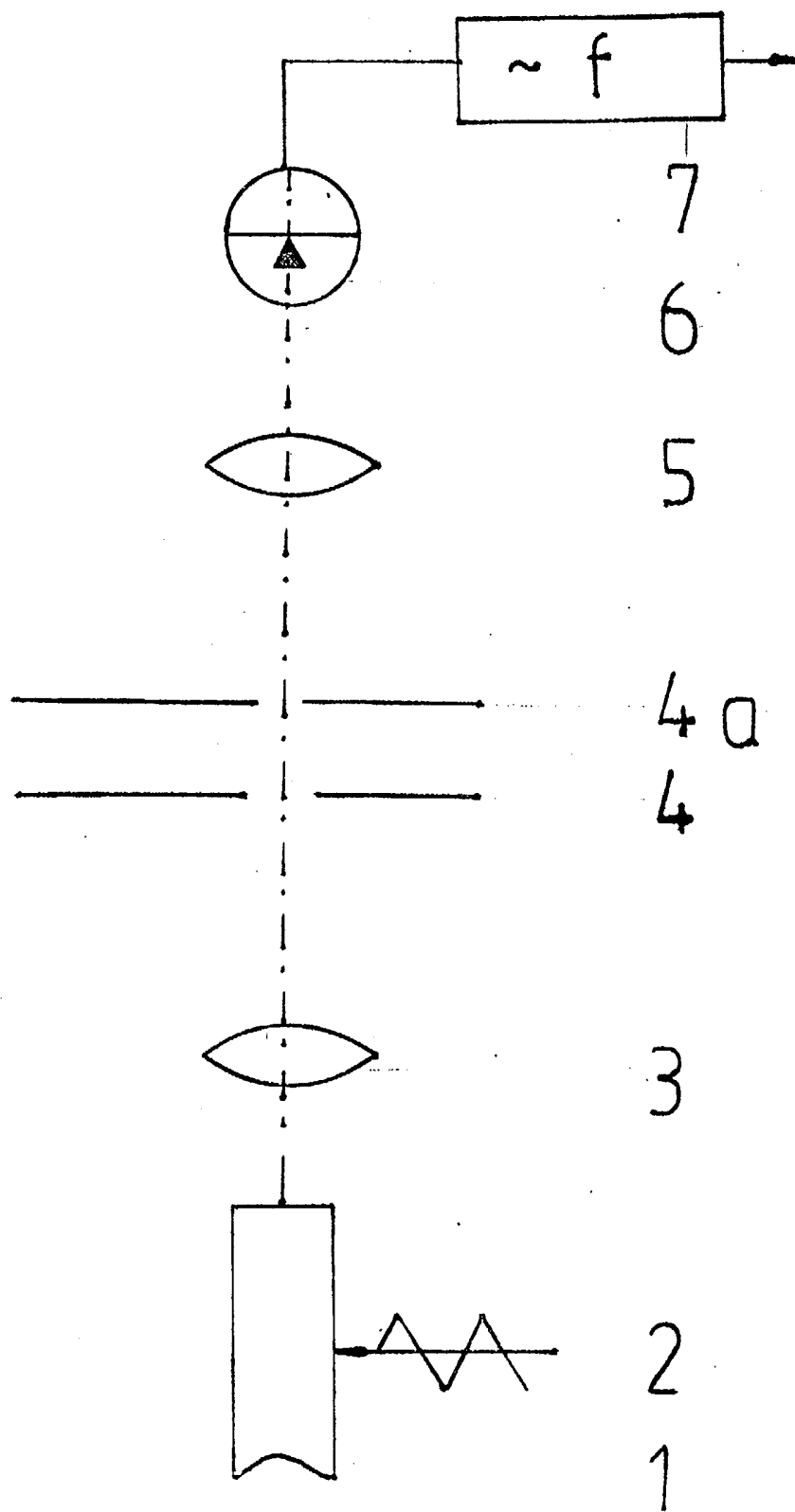


Fig. 1

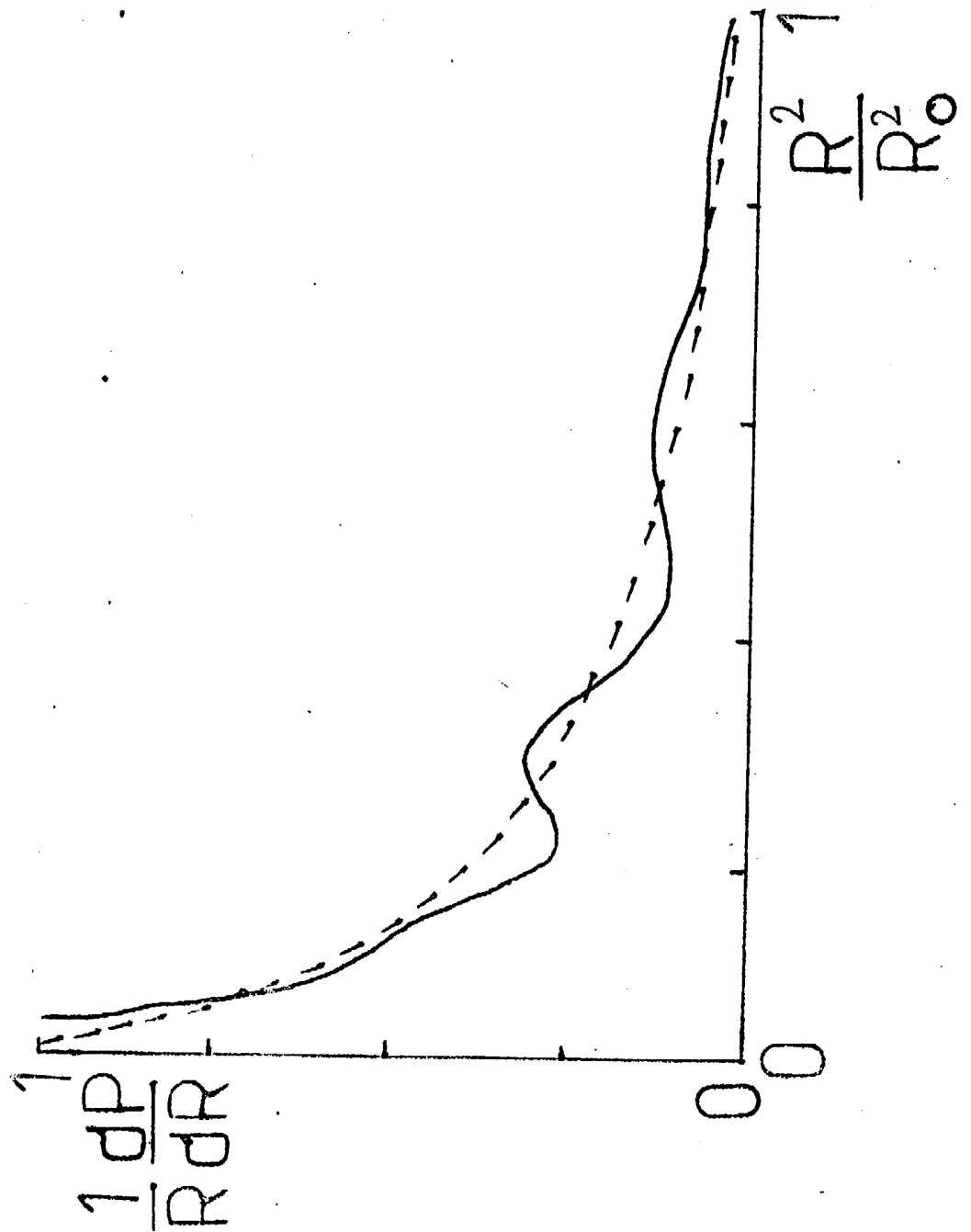
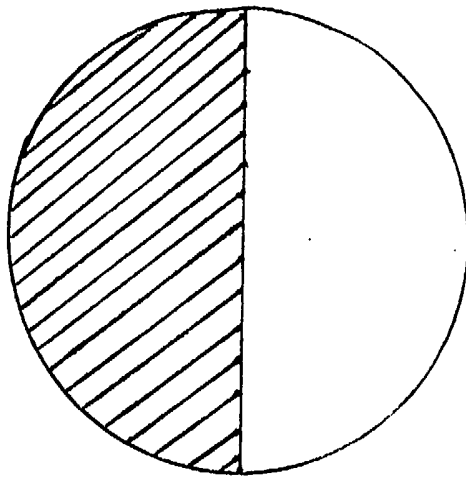


Fig.2

a)



b)

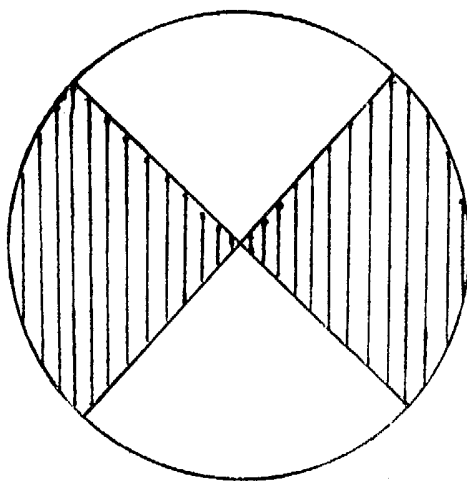


Fig. 3