



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 23 524 T2** 2006.07.27

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 212 644 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 5/30** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 23 524.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/24538**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 963 322.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/018570**

(86) PCT-Anmeldetag: **07.09.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **15.03.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.06.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.10.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.07.2006**

(30) Unionspriorität:

390833 07.09.1999 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

Moxtek, Orem, Utah, US

(72) Erfinder:

**HANSEN, P., Douglas, Spanish Fork, US;
PERKINS, T., Raymond, Orem, US; GARDNER,
Eric, Eagle Mountain, Utah 84043, US**

(74) Vertreter:

**Zenz, Helber, Hosbach & Partner GbR, 45128
Essen**

(54) Bezeichnung: **VERBESSERTER POLARISIERENDER BREITBAND DRAHTGITTER-STRAHLTEILER FÜR DEN SICHTBAREN SPEKTRALBEREICH**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. Gebiet der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen in dem sichtbaren Spektrum betreibbaren Strahlteiler, welcher eine lineare Polarisierung reflektiert und die andere durchläßt. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung einen solchen Strahlteiler, der einen Drahtgitterpolarisierer als das wirksame optische Element verwendet. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung die Schlüsselparameter des Strahlteilers zum Erreichen einer gewünschten Funktion über das gesamte sichtbare Spektrum.

2. Stand der Technik

[0002] Drahtgitterpolarisierer (WGP) wurden bei polarisierenden optischen Systemen verwendet, wurden aber nicht effektiv in Strahlteilern angewendet. Beispielsweise wurden Drahtgitterpolarisierer entwickelt, welche bei den infraroten und längeren Wellenlängen arbeiten¹. Es sind Strukturen mit Gitterabständen oder Perioden so fein wie 0,115 µm berichtet worden². Es wurden viele Konzepte, welche die Leistungsfähigkeit von Drahtgitterpolarisierern steigern, offenbart. Beispielsweise offenbaren Garwin³ und Keilmann³ Wege, die Leistungsfähigkeit von im Infrarotbereich arbeitenden Drahtgitterpolarisierern bei normalem Einfallswinkel zu verbessern. Tamada, als weiteres Beispiel, offenbart das Konzept, Resonanzeffekte in Gitterstrukturen zum Erzeugen eines engen polarisierenden Spektralbandelements zu verwenden, welches es nicht erfordert, daß der Gitterabstand viel kleiner als die Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist⁵. Jedoch erfordert ein Drahtgitterpolarisierer, der über ein breites Spektralband, beispielsweise das sichtbare Spektrum, arbeitet, daß der Gitterabstand viel kleiner als die Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist. Ein Nachteil bei Tamada ist, daß er keinen polarisierenden Strahlteiler, welcher bei einem bestimmten Winkel und mit einem bestimmten Verhältnis von Intensitäten zwischen den geteilten Strahlen offenbart. Tamada, wie andere, diskutiert lediglich Strukturen, die nahe an einem normalen Einfallswinkel arbeiten.

[0003] Das Konzept, infrarote Drahtgitterpolarisierer bei großen Einfallswinkeln zu verwenden, wird gelegentlich in der Literatur beschrieben. Beispielsweise mißt Stenkamp die Transmission eines Drahtgitterpolarisierers mit einer Periode von 100 nm bei einem Einfallswinkel von 80°. Stenkamp beobachtet eine Zunahme des Extinktionsverhältnisses bei einer Wellenlänge von 670 nm. Stenkamp hat jedoch nicht die Intensität der reflektierten Strahlung gemessen, und die Daten beziehen sich lediglich auf eine Wellenlänge⁶. Bird behauptet, als weiteres Beispiel,

daß qualitative Tests des Effektes eines schrägen (Licht-) Einfallses zeigen, daß die Durchlässigkeit des Drahtgitters bis zu 30° von der Normalen nahezu unabhängig von einem schrägen Einfall ist⁷, was mit einer sorgfältigen Studie von Pursley⁸ übereinstimmt.

[0004] Das Handbook of Optics behauptet, daß Drahtgitterpolarisierer in optischen Systemen mit hohen numerischen Aperturen verwendet werden können. Es wird insbesondere Young zitiert, und zwar dahingehend, daß er keine prozentuale Abnahme der Polarisierung bei einem Polarisierer im mittleren IR-Bereich (12 µm), welcher bei Einfallswinkeln von 0–45° verwendet wird, auffindet, während die Durchlässigkeit um 30% (0,55 – weniger als 0,40) abnimmt¹⁰.

[0005] Schlüsselgitterparameter, die zum Entwerfen von polarisierenden Strahlteilern verwendet werden, umfassen Periode (p), Linienbreite (w), Linientiefe oder -dicke (t), Eigenschaften (beispielsweise Refraktionsindex) des Gittermaterials, Eigenschaften des Substratmaterials (beispielsweise Refraktionsindex), Einfallswinkel, die Wellenlänge der einfallenden Strahlung und Gitterresonanzeffekte wie beispielsweise die Rayleigh-Resonanz. Beispielsweise studierte Haggans den Effekt dieser Parameter an optischen Strahlen, welche von dem Drahtgitter reflektiert wurden¹¹. Es scheint, daß die meisten von Haggans Berechnungen für einen Einfallswinkel von 45° vorgenommen worden sind und eine Transmission nicht in Erwägung gezogen wurde. Schnable, als weiteres Beispiel, behauptet, daß ein Ändern des Metallmaterials nicht sehr hilfreich ist, da es lediglich ein paar Ausnahmen gibt, bei welchen man den Polarisierungseffekt, verglichen mit Chrom, für einen bestimmten Wellenlängenbereich erhöhen kann¹².

[0006] Darüber hinaus beschreibt Haidner einen polarisierenden Reflektionsgitterpolarisierer, der lediglich bei einem normalen Einfallswinkel und einer Wellenlänge (10,6 µm) arbeitet¹³.

[0007] Es ist wünschenswert, einen polarisierenden Drahtgitter-Strahlteiler zu haben, der eine hohe und gleichmäßige Transmissionseffizienz über das sichtbare Spektrum, eine hohe und gleichmäßige Reflexionseffizienz über das sichtbare Spektrum, eine hohe Transmission und/oder Reflexionsextinktion über das sichtbare Spektrum, und eine große Anzahl numerischer Aperturen aufweist, beispielsweise müssen Transmissions- und Reflexionseffizienten und Extinktionen über einen nennenswerten Lichtkegel gehalten werden, und welcher gut mit einem Lichtkegel arbeitet, dessen Kegelwinkel 20–30° groß ist. Um diese Kriterien zu erfüllen, muß ein praktisch anwendbarer Entwurf, der eine gleichmäßige Leistung über das gesamte sichtbare Spektrum aufweist, Gitter-Resonanzeffekte wie beispielsweise die Rayleigh-Resonanz berücksichtigen und steuern. Wie oben aufge-

zeigt, beschreiben einige Dokumente einige Aspekte der Gitterparameter, die die Leistung von Drahtgitterpolarisierern bei schiefen Winkeln beeinflussen, während andere Dokumente eine gewisse Konfusion über die Rolle eben dieser Parameter aufzeigen. Keines dieser Dokumente jedoch vereint die Schlüsselkonzepte, welche für den Entwurf eines für Abbildungsanwendungen in dem sichtbaren Spektrum anwendbaren polarisierenden Drahtgitter-Strahlteilers notwendig sind.

[0008] Die Schlüsselkonzepte oder physikalischen Schlüsselparameter, die zueinander in Beziehung gebracht werden müssen und gemeinsam behandelt werden müssen, um den gewünschten Grad an Funktionalität bei einem polarisierenden Drahtgitter-Strahlteiler sicher zu stellen, umfassen: die Struktur und Form des Gitterprofils, die Höhe und Dicke der Drähte oder Gitterelemente, die Orientierung des Gitters in Bezug auf die Polarisierungen von Licht, die Gittermaterialien, den Einfallswinkel, Konvergenz, Divergenz oder Kegelwinkel und die Effekte von Phänomenen wie beispielsweise der Rayleigh-Resonanz. Diese Konzepte müssen verstanden werden, um die gewünschte Funktionalität eines effektiven polarisierenden Drahtgitter-Strahlteilers zu erhalten.

[0009] Es wäre daher vorteilhaft, einen Strahlteiler unter Verwendung eines Drahtgitterpolarisierers zum effektiven Reflektieren einer linearen Polarisation und Durchlassen der anderen über einen breiten Spektralbereich zu entwickeln. Es wäre ferner vorteilhaft, einen Strahlteiler zu entwickeln, der bei einer Vielzahl von Einfallswinkeln angeordnet werden kann, so daß dem optischen System keine signifikanten Designbeschränkungen auferlegt werden, jedoch eine weitestgehende Designflexibilität ermöglicht ist. Es wäre auch vorteilhaft, einen Strahlteiler zu entwickeln, welcher verschiedene wichtige Designkonzepte oder -parameter wie beispielsweise Drahtgitterprofil, Drahtgitterdimensionen, Drahtgittermaterial, Drahtgitterorientierung, Wellenlängenbereich, Einfallswinkel, Kegelwinkel, Rayleigh-Resonanzeffekte etc. berücksichtigt. Es wäre ferner vorteilhaft, einen Strahlteiler mit einem großen Öffnungswinkel zu entwickeln, der in der Lage ist, relativ divergentes Licht aufzunehmen.

1. H. Hertz, Electric Waves (Macmillan and Company, Ltd., London, 1893) Seite 177; G. R. Bird und M. Parrish, Jr., "The Wire Grid as a Near-Infrared Polarizer", J. Opt. Soc. Am. 50, Seiten 886–891, 1960.
2. G. J. Sonek, D. K. Wanger und J. M. Ballantyne, Appl. Opt. 22, Seiten 1270–1272, 1983.
3. Garvin, U. S. Patent 4,289,381.
4. Keilmann, U. S. Patent 5,177,635.
5. Tamada, U. S. Patent 5,748,368; und H. Tamada, et al., "Al wire-grid polarizer using the s-polarization resonance effect at the 0,8- μ m-wavelength band", Optics Letters, 22, No. 6, Seiten 410–421,

(1996).

6. B. Stenkamp, et al., "Grid polarizer for the visible spectral region," SPIE, 2213, Seiten 288–296 (1994).
7. G. R. Bird und M. Parrish, Jr. "The Wire Grid as a Near-Infrared Polarizer," J. Opt. Soc. Am. 50, Seiten 886–891 (1960).
8. W. K. Pursley, Doctoral thesis, University of Michigan (1956).
9. Michael Bass, Editor in Chief, The Handbook of Optics, Volume II, p. 3.34, McGraw-Hill, Inc., New York (1995).
10. J. B. Young et al., Appl. Opt. 4, Seiten 1023–1026 (1965).
11. C. W. Haggans, et al., "Lamellar gratings as polarization components for specularly reflected beams," J. Mod. Optics, 40, Seiten 675–686 (1993).
12. B. Schnable, et al. "Study on polarizing visible light by subwavelength-period metal-stripe gratings" Opt. Eng. 38(2), Seiten 220–226 (1999).
13. H. Haidner, et al., "Polarizing reflection grating beamsplitter for 10.6- μ m wavelength" Opt. Eng., 32(8), 1860–1865 (1993).

[0010] Weitere Beispiele des Standes der Technik sind in EP A 1 200 874, US A 4289381 und EP A 0 566 004 beschrieben.

AUFGABEN UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0011] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Strahlteilereinrichtung zur Verfügung zu stellen, die im sichtbaren Spektrum zum Reflektieren einer Polarisation des sichtbaren Lichtes und Durchlassen der anderen betrieben werden kann.

[0012] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Strahlteilereinrichtung zur Verfügung zu stellen, welche verschiedene Designparameter oder -konzepte wie beispielsweise Drahtgitterprofil, Drahtgitterdimension, Drahtgittermaterial, Drahtgitterorientierung, Wellenlängenbereich, Einfallswinkel, Kegelwinkel und Rayleigh-Resonanzeffekte kombiniert, um eine effektive und effiziente Leistung zu liefern.

[0013] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Strahlteilereinrichtung bereitzustellen, die in der Lage ist, bei einer Vielzahl von Einfallswinkeln angeordnet zu werden, was eine gesteigerte Designflexibilität ermöglicht.

[0014] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Strahlteilereinrichtung mit einem großen Öffnungswinkel bereitzustellen, die in der Lage ist, relativ divergentes Licht aufzunehmen.

[0015] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden

Erfindung, eine Strahlteilereinrichtung für eine Verwendung in Bildprojektionssystemen, Lichtprojektionssystemen und/oder Anzeigesystemen bereitzustellen.

[0016] Diese und andere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden mit einem polarisierenden Drahtgitter-Strahlteiler mit einer grundsätzlich parallelen Anordnung von dünnen, gestreckten Elementen realisiert, wie es in den beigefügten Ansprüchen dargelegt ist. Vorzugsweise reflektiert die Anordnung von Elementen entweder zumindest 67% einer Polarisation und/oder läßt zumindest 67% der anderen Polarisation durch. Ferner ist die Anordnung von Elementen vorteilhafterweise bei einem Einfallswinkel zwischen ungefähr 0 bis 80° angeordnet.

[0017] Ein Verfahren zum Entwerfen und Herstellen eines polarisierenden Drahtgitter-Strahlteilers, der über einen gewünschten Bereich von Einfallswinkeln betrieben werden kann, mit einer grundsätzlich ähnlichen Leistung über das sichtbare Spektrum und mit einer vorgegebenen Extinktion umfaßt zunächst ein Bestimmen der Transmissionseffizienz für die vorgegebene untere und obere Grenze der Einfallswinkel bei verschiedenen Elementdicken unter Verwendung einer unteren Grenze des sichtbaren Spektrums. Andere kritische Parameter werden ausgewählt, die zumindest die Periode und das Breite-zu-Periode-Verhältnis einschließen. Es wird die Elementdicke bestimmt, bei welcher die Transmissionseffizienz für die obere und die untere Grenze der Einfallswinkel ausreichend ähnlich ist. Es wird die Extinktion für die bestimmte Elementdicke sowohl der oberen als auch der unteren Grenze der Einfallswinkel berechnet. Wenn die berechnete Leistung annehmbar ist, ist der Entwurf geeignet. Wenn die berechnete Leistung nicht annehmbar ist, wird der obige Vorgang bei Veränderung zumindest eines der Parameter wiederholt, bis die vorgegebene Extinktion erreicht wird. Die Transmissionseffizienz kann für verschiedene unterschiedliche Einfallswinkel im gewünschten Bereich und für verschiedene Wellenlängen im sichtbaren Spektrum bestimmt werden. Der Vorgang kann bei Veränderung zumindest eines der Parameter wiederholt werden, bis die gewünschte Strahlteilereffizienz erreicht wird und grundsätzlich über das gesamte Spektrum ähnlich ist.

[0018] Diese und andere Aufgaben, Merkmale, Vorteile und alternative Aspekte der vorliegenden Erfindung werden dem Fachmann bei einer Berücksichtigung der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen deutlich.

BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0019] [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Darstellung der allgemeinen Arbeitsweise einer Anzeigevorrichtung bei Verwendung eines erfindungsgemäßen po-

larisierenden Drahtgitter-Strahlteilers.

[0020] [Fig. 2a](#) zeigt eine perspektivische Darstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen polarisierenden Drahtgitter-Strahlteilers.

[0021] [Fig. 2b](#) zeigt eine Querschnittsseitendarstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen polarisierenden Drahtgitter-Strahlteilers.

[0022] [Fig. 2c](#) zeigt eine Querschnittsseitendarstellung eines alternativen Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen polarisierenden Drahtgitter-Strahlteilers.

[0023] [Fig. 2d](#) zeigt eine Querschnittsseitendarstellung eines alternativen Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen polarisierenden Drahtgitter-Strahlteilers.

[0024] [Fig. 3a](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die Effizienz von S-Polarisationsreflexion und P-Polarisationstransmission bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm als eine Funktion der Gitterperiode zeigt.

[0025] [Fig. 3b](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die Durchsatz($R_s T_p$)-Effizienz des Drahtgitter-Strahlteilers als eine Funktion der Gitterperiode bei 450 nm, 550 nm und 650 nm zeigt.

[0026] [Fig. 3c](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die Extinktion des Drahtgitterpolarisierers als eine Funktion der Gitterperiode bei 450 nm, 550 nm und 650 nm zeigt.

[0027] [Fig. 3d](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die Wellenlänge, bei welcher die Rayleigh-Resonanz auftritt, als eine Funktion der Gitterperiode für Einfallswinkel von 0°, 30°, 45° und 60° zeigt.

[0028] [Fig. 3e](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die maximal verwertbare Periode, basierend auf dem Einsetzen der Rayleigh-Resonanz, als eine Funktion des Einfallswinkels zeigt.

[0029] [Fig. 4a](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die Effizienzen von P-Polarisationstransmission und S-Polarisationsreflexion als eine Funktion der Gitterelementhöhe bei 450 nm, 550 nm und 650 nm Einfallslicht zeigt.

[0030] [Fig. 4b](#) zeigt ein Kurvenbild, welches den Durchsatz($R_s T_p$) als eine Funktion der Gitterelementhöhe zeigt.

[0031] [Fig. 4c](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die Extinktion des Drahtgitterpolarisierers als eine Funktion

der Gitterelementhöhe zeigt.

[0032] [Fig. 5a](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die S-Polarisationsreflexion und die P-Polarisationstransmission als eine Funktion des Breite-zu-Periode-Verhältnisses oder Linie-Abstand-Verhältnisses bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm zeigt.

[0033] [Fig. 5b](#) zeigt ein Kurvenbild, welches den Durchsatz ($R_s T_p$) als eine Funktion des Breite-zu-Periode-Verhältnisses oder Linie-Abstand-Verhältnisses bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm zeigt.

[0034] [Fig. 5c](#) ist ein Kurvenbild, welches die Extinktion als eine Funktion des Breite-zu-Periode-Verhältnisses oder Linie-Abstand-Verhältnisses bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm zeigt.

[0035] [Fig. 6a](#) zeigt ein Kurvenbild, welches den Durchsatz ($R_s T_p$) als eine Funktion der Wellenlänge für einen Drahtgitterpolarisierer mit trapezförmigen Gitterelementen zeigt.

[0036] [Fig. 6b](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die Extinktion als eine Funktion der Wellenlänge für einen Drahtgitterpolarisierer mit trapezförmigen Gitterelementen zeigt.

[0037] [Fig. 7a](#) zeigt ein Kurvenbild, welches den Durchsatz ($R_s T_p$) als eine Funktion des oberen Eckenradius (Eckenrundung) für Gitterelemente bei 450 nm, 550 nm und 650 nm zeigt.

[0038] [Fig. 7c](#) zeigt ein Kurvenbild, welches den Durchsatz ($R_s T_p$) als eine Funktion der Wellenlänge für ein Gitter mit Elementen von sinusförmigem Querschnitt zeigt.

[0039] [Fig. 7d](#) zeigt ein Kurvenbild, welches die Extinktion als eine Funktion der Wellenlänge für ein Gitter mit Elementen von sinusförmigem Querschnitt zeigt.

[0040] [Fig. 8a](#) zeigt ein Kurvenbild einer P-Polarisationstransmission bei Einfallswinkeln von 30° und 60° als eine Funktion der Gitterelementhöhe.

[0041] [Fig. 8b](#) zeigt ein Kurvenbild der Transmissionsextinktion bei Einfallswinkeln von 30° und 60° als eine Funktion der Gitterelementhöhe.

[0042] [Fig. 8c](#) zeigt ein Kurvenbild der P-Polarisationstransmission bei Einfallswinkeln von 30° und 60° als eine Funktion der Gitterelementhöhe.

[0043] [Fig. 8d](#) zeigt ein Kurvenbild der Transmissionsextinktion bei Einfallswinkeln von 30° und 60° als eine Funktion der Gitterelementhöhe.

[0044] [Fig. 8e](#) zeigt ein Kurvenbild der P-Polarisationstransmission des optimierten Designs.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0045] Es wird nun Bezug genommen auf die Zeichnungen, in welchen den verschiedenen Elemente der vorliegenden Erfindung Bezugszeichen zugeordnet sind, und in welchen die Erfindung so beschrieben wird, daß ein Fachmann in die Lage versetzt wird, die Erfindung herzustellen und zu verwenden.

[0046] Das bevorzugte Ausführungsbeispiel eines polarisierenden Drahtgitter-Strahlteilers ist für eine Verwendung in optischen Systemen wie das in [Fig. 1](#) gezeigte geeignet. Wie in [Fig. 1](#) veranschaulicht, ist eine Anzeigeoptik eines Bildprojektionssystems, allgemein bezeichnet mit **10**, mit einem Drahtgitterpolarisierer als der Strahlteiler, allgemein bezeichnet mit **14**, gezeigt. Das Bildprojektionssystem **10** kann eine Lichtquelle **20**, eine Lichtsammeloptik **22**, den polarisierenden Drahtgitter-Strahlteiler **14**, die Projektionsoptik **24** und einen Anzeigebildschirm **25** beliebiger Art, das Bilderzeugungs-Flüssigkristall-Array oder Lichtventil **26** und eine Abbildungs-Übertragungs-Optik **27** umfassen. Es ist offensichtlich, daß andere Anordnungen mit einem polarisierenden Drahtgitter-Strahlteiler möglich sind.

[0047] Bei der in [Fig. 1](#) gezeigten optischen Geometrie muß das Drahtgitter PBS **14** ein hohes Reflexionsvermögen (R_s) für die gewünschte Polarisation, beispielsweise die S-Polarisation, von der Lichtquelle **20** aufweisen und es muß ein hohes Transmissionsvermögen (T_p) für die entgegengesetzte Polarisation, wie beispielsweise die P-Polarisation, von dem Flüssigkristall-Array **26** haben. Die Effizienz des optischen Systems ist proportional zu dem Produkt dieser zwei, nämlich $R_s T_p$, so daß ein Defizit eines Faktors in gewissem Maße durch eine Erhöhung des anderen kompensiert werden kann, wobei es das Ziel ist, das größtmögliche Produkt $R_s T_p$ zu bilden. Für die weitere Beschreibung wird der Begriff Durchsatz zur Bezeichnung des Produktes RSTP verwendet.

[0048] Ein weiterer wichtiger Leistungsfaktor ist der Kontrast in dem Bild, der definiert ist als das Verhältnis der Intensität von hellen zu dunklen Pixeln. Dies wird zu einem großen Teil durch geringen Verlust der nicht erwünschten Polarisation geregelt, aber in diesem Falle ist das Produkt der Reflexionsextinktion und der Transmissionsextinktion kein wichtiger Parameter, da auch das Bilderzeugungs-Array **26**, welches in Sequenz hinter dem ersten aber vor dem zweiten Treffen mit dem Strahlteiler **14** liegt, an der Erzeugung des Bildkontrastes teilnimmt. Daher hängt der endgültige Systemkontrast sowohl von der Leistung des Lichtventils als auch von der Extinktion des Polarisierers ab. Es wurde gefunden, daß eine

Reflexions- und Transmissionsextinktion von 50 ein vernünftig anwendbares Minimum für Systeme gemäß [Fig. 1](#) ist, welche keine zusätzlichen Polarisierungselemente aufweisen.

[0049] Von dem Strahlteiler **14** werden zwei unterschiedliche Funktionen erfüllt. Die erste ist das Erzeugen des polarisierten Lichtes vor Auftreffen auf das Flüssigkristall-Array **26** oder eine andere geeignete Bilderzeugungseinrichtung. Dabei ist erforderlich, daß das Licht ausreichend gut polarisiert ist, damit sämtliche Variationen in der Polarisation des von dem Lichtventil **26** erzeugten Lichtstrahles von dem Strahlteiler **14** angemessen erkannt oder analysiert werden können, so daß das endgültige Bild die gewünschte Güte aufweist. Die zweite ähnliche Funktion des Strahlteilers **14** ist es, Licht zu analysieren, welches von dem Lichtventil **26** zurück auf den Strahlteiler **14** geleitet wird, so daß die gewünschte Systemkontrastleistung erreicht wird.

[0050] Der polarisierende Drahtgitter-Strahlteiler **14** des bevorzugten Ausführungsbeispiels ist daher so gestaltet, daß er den Durchsatz ($R_s T_p$) maximiert, während er gleichzeitig die gewünschte Polarisationssextinktion für sowohl den reflektierten Strahl R als auch den durchgelassenen Strahl T liefert. Es gibt Schlüsselparameter oder physikalische Charakteristika der Erfindung, welche zum Erreichen dieses gewünschten Leistungsgrades wesentlich sind, und welche daher nachfolgend unter Bezugnahme auf die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) beschrieben werden.

[0051] Es wird Bezug genommen auf die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#). Der polarisierende Strahlteiler **14** weist ein Gitter **30** oder ein Array von parallelen leitfähigen, auf einem Substrat **40** angeordneten Elementen auf. Der polarisierende Strahlteiler **14** ist derart in dem Licht angeordnet, daß der Lichtstrahl auf dem Gitter mit einem Einfallswinkel θ einfällt. Die physikalischen Schlüsselparameter des Drahtgitter-Strahlteilers **14**, welche als eine Gruppe optimiert werden müssen, um den erforderlichen Leistungsgrad zu erreichen, umfassen: die Periode p des Drahtgitters **30**, die Höhe oder Dicke t der Gitterelemente **30**, die Breite w der Gitterelemente **30** und die Neigung α der Gitterelementseiten.

[0052] Neben dem Herstellen eines Arrays von gestreckten Elementen mit der geeigneten Beziehung zwischen den Dimensionen ist es wichtig, die Elemente aus geeigneten Materialien mit geeigneten optischen Eigenschaften zu bilden. Bei Strahlteilern, welche über das sichtbare Spektrum arbeiten müssen, sind Aluminium oder Silber die bevorzugten Materialien. Es ist wichtig, daß das verwendete Aluminium oder Silber die beste optische Qualität aufweist. Beim Herstellen des Aluminiums oder Silbers muß man Sorgfalt walten lassen, so daß es optische Qualitäten (wie beispielsweise die optischen Konstanten

n und k) aufweist, welche im wesentlichen denen in Palik, Handbook of Optical Constants of Solids, Part I, Edward D. Palik, Herausgeber, 1985, Seiten 350–357 und 369–406, den in Palik zitierten ursprünglichen Quellen oder ähnlichen Datentabellen entsprechen. Beispielsweise sind die gewünschten optischen Konstanten für Silber: $n = 0,144$ und $k = 2,56$ bei einer Wellenlänge von 459,2 nm; $n = 0,120$ und $k = 3,45$ bei einer Wellenlänge von 563,6 nm; und $n = 0,140$ und $k = 4,15$ bei einer Wellenlänge von 652,6 nm. Entsprechend sind für Aluminium geeignete Werte: $n = 0,618$ und $k = 5,47$ bei einer Wellenlänge von 450 nm; $n = 0,958$ und $k = 6,69$ bei einer Wellenlänge von 550 nm und $n = 0,147$ und $k = 7,79$ bei einer Wellenlänge von 650 nm. Wir haben gefunden, daß Aluminium gegenüber Silber bevorzugt ist, da es signifikant höhere k -Werte aufweist. Insbesondere haben wir gefunden, daß die Verwendung von Aluminium, bei welchem entweder einer oder beide der n - und k -Werte nicht über ungefähr 50% dieser Werte liegen, die Schwierigkeit des Herstellens eines Strahlteilers, welcher angemessen funktioniert, signifikant erhöht. Falls Silber verwendet wird, müssen entweder einer oder beide der n - und k -Werte größer als ungefähr 80% der oben gezeigten Werte sein.

[0053] Man wird beim Betrachten der [Fig. 2b](#) erkennen, daß der Querschnitt der Gitterelemente **30** trapezförmig oder rechteckig ist. Diese Form ist auch ein Merkmal des polarisierenden Strahlteilers **14** des bevorzugten Ausführungsbeispiels, jedoch sind naturgemäße geringe Variationen aufgrund von Herstellungsprozessen, wie beispielsweise die Rundung der Ecken **50** an der Spitze des Gitterelements **30** und Abrundungen **54** an der Unterseite des Gitterelementes **30**, erlaubt.

[0054] Es sollte zur Kenntnis genommen werden, daß die Neigung der Gitterelementseiten unterschiedlich sein kann, da ein Einführen einer unterschiedlichen Neigung an der linken Seite gegenüber der rechten Seite des Gitterelementes **30** vorteilhaft genutzt werden kann, um die Winkelleistung des Gitters **30** durch Einführen einer gerichteten Anisotropie in die Gitterstruktur zu unterstützen. Jedoch ist dies ein sekundärer Effekt.

[0055] Wahlweise kann der Querschnitt der Gitterelemente **30** sanft gekrümmt, wie es in [Fig. 2c](#) gezeigt ist, oder sinusförmig sein, wie es in [Fig. 2d](#) gezeigt ist. Beispielsweise kann der Querschnitt des Elementes **30** einem Abschnitt einer Sinuskurve ähnlich sein, wie es in [Fig. 2d](#) gezeigt ist. Ein solcher gekrümmter oder sinusförmiger Querschnitt kann durch ein extremes Abrunden der Ecken und Abrundungen an der Unterseite der Elemente gebildet werden. Als weiteres Beispiel kann die Oberseite der Elemente breit gekrümmt sein, oder die Ecken können extrem abgerundet sein, wie es in [Fig. 2c](#) gezeigt ist.

[0056] Es sollte ferner zur Kenntnis genommen werden, daß die Periode p des Drahtgitters **30** regelmäßig sein muß, um die Spiegelreflexionsleistung zu erreichen, die erforderlich ist, um die Abbildungsgenauigkeitserfordernisse des Strahlteilers **14** des bevorzugten Ausführungsbeispiels zu erfüllen. Obwohl es besser ist, wenn das Gitter vollständig regelmäßig oder gleichmäßig ist, können einige Anwendungen moderate Anforderungen aufweisen, bei welchen dieses nicht so kritisch ist. Es wird jedoch angenommen, daß eine Variation der Periode p von weniger als 10% bei einer wichtigen Dimension des Bildes, wie beispielsweise der Größe eines einzigen Zeichens bei einer Zeichenanzeige oder einiger Pixel bei einem Bild, zum Erreichen der erforderlichen Leistung erforderlich ist. Natürlich können Anwendungen des polarisierenden Drahtgitter-Strahlteilers außerhalb des Abbildungsbereiches eine große Toleranz für eine Variation der Periode p aufweisen.

[0057] Entsprechend sind auch sinnvolle Variationen bei anderen beschriebenen Parametern des Strahlteilers **14** wie beispielsweise die Breite w der Gitterelemente **30**, die Gitterelementhöhe t , die Neigungen α der Seiten oder sogar der Rundung R_c der Ecke **50** und die Rundung R_f der Ausrundung **54**, möglich, ohne die Anzeigeleistung wesentlich zu beeinflussen, insbesondere wenn der Strahlteiler **14** nicht in einer Bildebene ist, wie es oftmals der Fall sein wird. Diese Variationen können sogar bei dem fertigen Strahlteiler **14** als Streifen, Änderungen der Transmissionseffizienz, Reflexionseffizienz, Farbgleichmäßigkeit etc. sichtbar sein und dennoch ein verwendbares Teil für bestimmte Anwendungen bereitstellen.

[0058] Die Designziele, welche durch die Optimierung dieser Parameter erreicht werden müssen, sind Erzeugen des bestmöglichen Durchsatzes $R_S T_P$ bei Einhaltung der Kontrasterfordernisse der Anwendung. Wie oben angegeben, liegt die minimale, für den polarisierten Strahlteiler **14** erforderliche Extinktion in der Größenordnung von 50. Es wurde gefunden, daß der minimal erforderliche Durchsatz ($R_S T_P$) des Strahlteilers **14** zum Erzielen eines verwertbaren Produktes ungefähr 50% beträgt, was bedeutet, daß entweder einer oder beide der Werte R_S und T_P über 67% liegen muß bzw. müssen. Natürlich ist eine höhere Leistung sowohl des Durchsatzes als auch der Extinktion des Strahlteilers nützlich und stellt ein besseres Produkt dar. Um zu verstehen, wie diese Parameter die Leistung des Drahtgitter-Strahlteilers beeinflussen, ist es notwendig, die Leistungsveränderung, welche durch jeden Parameter erzeugt wird, zu untersuchen.

[0059] Es wird Bezug genommen auf die [Fig. 3a–Fig. 3e](#). Es ist die Leistung des Drahtgitter-Strahlteilers **14** bezüglich der Periode p gezeigt. Das Gitter besteht aus einem Array von Aluminium-

drahtgitterelementen mit optischen Konstanten von Palik auf einem BL7-Glassubstrat. Die Höhe oder Dicke t jedes Aluminiumdrahtgitterelementes beträgt 1000 Å oder 100 nm. Der Einfallswinkel θ beträgt 30° und das Linienbreite-zu-Periode-Verhältnis ist 0,45. [Fig. 3a](#) zeigt die Reflexionseffizienz der S-Polarisation und die Transmissionseffizienz der P-Polarisation bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm als eine Funktion der Gitterperiode p .

[0060] [Fig. 3b](#) zeigt den Durchsatz ($R_S T_P$) als eine Funktion der Periode p bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm. Die in [Fig. 3b](#) dargestellten Daten zeigen, daß die Periode p 0,21 µm groß sein kann und dennoch einen Durchsatz von 50% bringt.

[0061] [Fig. 3c](#) gibt die Extinktion als eine Funktion der Periode p wieder. Für den schlechtesten Fall, d.h. die Wellenlänge $\lambda = 450$ nm, ist die Extinktion größer als 100, wobei die Periode p 0,21 µm ist.

[0062] [Fig. 3d](#) stellt die Rayleigh-Wellenlänge dar, d.h. die Wellenlänge, bei welcher eine Gitterresonanz ($\lambda = p[n_s \pm \sin \theta]$ mit $n_s = 1,525$) als eine Funktion der Periode p auftritt. Wiederum kann die Periode p bei einem Einfallswinkel θ von 30° und einer Wellenlänge $\lambda = 450$ nm 0,21 µm groß sein.

[0063] [Fig. 3e](#) zeigt die zulässige Periode p als eine Funktion des Einfallswinkels θ . Die maximal sinnvolle Periode basiert auf dem Einsetzen der Rayleigh-Resonanz basierend auf dem Einfallswinkel bei einer Wellenlänge von 450 nm. Die Kurve zeigt, daß der Drahtgitterpolarisierer bei einem großen Einfallswinkel mit einer Periode von 0,21 µm oder weniger arbeiten kann.

[0064] Daher zeigen die [Fig. 3a–Fig. 3e](#), daß ein Drahtgitterpolarisierer, wie er durch die oben genannten Parameter definiert ist, eine Periode p von weniger als 0,21 µm aufweisen muß, um einen Strahlteiler zu ergeben, welcher über das sichtbare Spektrum eine vernünftige Leistung liefert. Es ist selbstverständlich, daß ein Strahlteiler mit einer größeren Periode in Systemen verwendbar ist, bei welchen angenommen wird, daß sie weniger als das gesamte sichtbare Spektrum, beispielsweise lediglich Rot, Rot und Grün etc. anzeigen.

[0065] Es wird nun Bezug genommen auf die [Fig. 4a–Fig. 4c](#). Es ist die Leistung des Drahtgitter-Strahlteilers **14** bezogen auf die Elementhöhe oder -dicke t gezeigt. Der Polarisierer ist ein Array von Aluminiumdrahtelementen mit optischen Eigenschaften nach Palik auf einem BK7-Glassubstrat. Die Periode beträgt 0,15 µm, das Linie-Abstand-Verhältnis ist 0,5 und der Einfallswinkel θ beträgt 60°. [Fig. 4a](#) stellt die Reflexionseffizienz der S-Polarisation und die Transmissionseffizienz der P-Polarisation

als ein Funktion der Elementhöhe oder -dicke t bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm dar. In [Fig. 4a](#) sind Dünnschichteffekte sichtbar, jedoch verbleibt die P-Transmissionseffizienz für sämtliche praktikablen Elementhöhen, nämlich 200 Å bis 0,5 µm und mehr, über 60%. Natürlich ergeben sich für andere Materialien als Aluminium mit anderen optischen Eigenschaften unterschiedliche Ergebnisse.

[0066] [Fig. 4b](#) zeigt den Durchsatz als eine Funktion der Elementhöhe oder -dicke t bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm. Der Durchsatz ist größer als 50% für sämtliche praktikablen Elementhöhen zwischen 200 Å und 0,5 µm oder 20 nm und 500 nm.

[0067] [Fig. 4c](#) zeigt die Extinktion als eine Funktion der Elementhöhe bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm. Eine Extinktion von 50 erfordert eine Elementhöhe t von zumindest 500 Å oder 50 nm.

[0068] Daher zeigen die [Fig. 4a–Fig. 4c](#), daß die Drahtgitterelementshöhe für t zwischen 500 Å und 0,5 µm liegen muß, um die erforderliche Leistung bereitzustellen.

[0069] Es wird nun Bezug genommen auf die [Fig. 5a–Fig. 5c](#). Die Leistung des Drahtgitterstrahlteilers **14** ist bezogen auf das Linie-Abstand-Verhältnis dargestellt. Der Polarisierer ist ein Array von Aluminiumdrahtgitterelementen mit optischen Eigenschaften nach Palik auf einem BK7-Glassubstrat. Die Periode p beträgt 0,16 µm, die Aluminiumelementhöhe t beträgt 0,13 µm und der Einfallswinkel θ beträgt 60°.

[0070] [Fig. 5a](#) zeigt eine graphische Darstellung der Reflexionseffizienz der S-Polarisation und der Transmissionseffizienz des Linienbreite-zu-Periode-Verhältnisses (w/p) bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm. Die P-Transmissionseffizienz bleibt bei einem Linie-Abstand-Verhältnis zwischen 0,16 und 0,76 hoch.

[0071] [Fig. 5b](#) zeigt den Durchsatz als eine Funktion des Linienbreite-zu-Periode-Verhältnisses bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm. Eine gute Durchsatzleistung wird für ein Linienbreite-zu-Periode-Verhältnis zwischen 0,16 und 0,76 erreicht.

[0072] [Fig. 5c](#) gibt die Extinktion als eine Funktion des Linienbreite-zu-Periode-Verhältnisses bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm wieder. Eine Extinktion von 50 über das sichtbare Spektrum erfordert, daß dieses Verhältnis zumindest 0,25 ist. Natürlich kann ein Strahlteiler, welcher lediglich bei größeren Wellenlängen (Rot, Rot-Grün) verwendet wird, ein Verhältnis kleiner als 0,20 aufweisen.

[0073] Daher zeigen die [Fig. 5a–Fig. 5c](#), daß das Linienbreite-zu-Periode-Verhältnis (w/p) zwischen 0,25 und 0,76 liegen muß, um die erforderliche Leistung zur Verfügung zu stellen.

[0074] Es wird nun auf die [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) Bezug genommen. Die Leistung des Drahtgitter-Strahlteilers **14** wird bezogen auf die Querschnittsform der Elemente, nämlich ein trapezförmiger Querschnitt, gezeigt. Der in diesen Figuren dargestellte Polarisierer ist ein Array von Aluminiumdrahtgitterelementen mit optischen Eigenschaften nach Palik auf einem BK7-Glassubstrat. Die Periode p beträgt 0,16 µm, der Einfallswinkel θ 45° und die Höhe t der trapezförmigen Elemente ist 1000 Å. Der Querschnittsbereich des Drahtgitterelementes ist der gleiche wie bei einem rechteckigen Drahtgitterelement mit einem Linie-Abstand-Verhältnis von 0,45.

[0075] [Fig. 6a](#) zeigt den Durchsatz für ein Drahtgitter-Array aus Elementen mit einem trapezförmigen Querschnitt mit Seitenwänden, die bezüglich des Substrates einen Winkel von 60° bilden, als eine Funktion der Wellenlänge λ . Ein Durchsatz von mehr als 50% tritt für sämtliche Wellenlängen $\lambda \geq 415$ nm auf.

[0076] [Fig. 6b](#) gibt die Extinktion für ein Drahtgitter-Array aus Elementen mit einem trapezförmigen Querschnitt mit Seitenwänden, die mit dem Substrat einen Winkel von 68° bilden, als eine Funktion der Wellenlänge λ wieder. Sämtliche Wellenlängen ≥ 390 nm weisen eine Extinktion von größer 50 auf.

[0077] Daher zeigen die [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#), daß ein Drahtgitterelement mit einem trapezförmigen Querschnitt, das einen Neigungswinkel von weniger als 68° aufweist, die erforderliche Leistung zur Verfügung stellt. Der Winkel kann zwischen 112° [über 90° (rechteckig)] und 68° liegen, ohne die Leistung gegenüber der in den [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) gezeigten wesentlich zu vermindern.

[0078] Es wird nun auf die [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) Bezug genommen. Die Leistung des Drahtgitter-Strahlteilers **14** wird bezogen auf den Radius r_c der Ecken **50** gezeigt. Der Polarisierer ist ein Array von Aluminiumdrahtgitterelementen mit optischen Eigenschaften nach Palik auf einem 1737F-Glassubstrat. Die Periode p beträgt 0,16 µm, die Aluminiumelementhöhe t beträgt 0,115 µm und der Einfallswinkel θ beträgt 45°.

[0079] [Fig. 7a](#) zeigt den Durchsatz ($R_s T_p$) als eine Funktion der Eckenrundung bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm. Eine gute Durchsatzleistung, d.h. mehr als 50%, wird für sämtliche Rundungen erhalten.

[0080] [Fig. 7b](#) gibt die Extinktion als eine Funktion

der Eckenrundung bei Wellenlängen von 450 nm, 550 nm und 650 nm wieder. Eine Extinktion von mehr als 100 ist für sämtliche Eckenrundungen möglich.

[0081] Es wird nun auf die [Fig. 7c](#) und [Fig. 7d](#) Bezug genommen. Die Leistung des Drahtgitter-Strahlteilers **14** wird bezogen auf die Querschnittsform der Elemente, nämlich einen sinusförmigen Querschnitt, gezeigt. Der Polarisierer ist ein Array von Aluminiumdrahtgitterelementen mit optischen Eigenschaften nach Palik auf einem BK7-Glassubstrat. Die Drahtgitterelemente weisen einen sinusförmigen Querschnitt mit einer Höhe t von $0,15\text{ }\mu\text{m}$ auf. Die anderen Parameter entsprechen den in [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) verwendeten.

[0082] [Fig. 7c](#) zeigt den Durchsatz ($R_s T_p$) für den sinusförmigen Querschnitt als eine Funktion der Wellenlänge λ . Eine gute Durchsatzleistung, d.h. mehr als 50%, wird für Wellenlängen größer als 400 nm erreicht.

[0083] Die [Fig. 7d](#) gibt die Extinktion für den sinusförmigen Querschnitt als eine Funktion der Wellenlänge λ wieder. Eine Extinktion von mehr als 50 ist für Wellenlängen größer als 400 nm möglich.

[0084] Daher zeigen die [Fig. 7a–Fig. 7d](#), daß die Ecken des Drahtgitterelementes gerundet und zur einfacheren Herstellung sogar sinusförmig etc. sein können.

[0085] Die oben aufgezeigten Informationen definieren in breiten Begriffen, was die erforderlichen Bereiche für sämtliche der Parameter des Drahtgitter-Strahlteilers **14** sind, jedoch definieren sie nicht Wege, auf welchen diese Parameter zusammen gewählt werden, um die gewünschte Strahlteilerleistung zu erreichen. Bedenken bestehen hinsichtlich des Ausgleichens, der Farbleistung über einen Winkel, der Transmission über einen Winkel, der Extinktion über einen Winkel etc. Neben den oben angegebenen breiten Bereichen ist es ferner wichtig, zu wählen, welche besonderen Parameter aus den definierten Bereichen für besondere Anwendungen geeignet sind, und es ist wichtig, einige grundsätzliche Regeln zu definieren, welche aufzeigen, wie diese Parameter ausgewählt werden.

[0086] Es wird Bezug genommen auf die [Fig. 8a–Fig. 8d](#). Ein Designbeispiel ist gezeigt. Das Ziel ist es, einen polarisierenden Drahtgitter-Strahlteiler herzustellen, der über einen Einfallswinkel θ von 30° bis 60° mit einer annähernd ebenen Antwort über die sichtbaren Wellenlängen, 450 nm bis 650 nm, mit einer Extinktion von zumindest 200 und einer Effizienz oder einem Durchsatz von zumindest 70% arbeitet. Das Design wird durch Iteration erreicht. Zunächst wird die P-Transmission als eine Funktion der Drahtgitterelementhöhe t für Einfalls-

winkel von 30° bis 60° unter Verwendung einer Wellenlänge von 450 nm berechnet. Die kurze Wellenlänge von 450 nm ergibt das schlechteste Ergebnis, während längere Wellenlängen bessere Ergebnisse erzielen. Anhand von [Fig. 5b](#) ist es klar, daß eine Auswahl von 0,5 für das Breite-zu-Periode-Verhältnis nahe dem Optimum ist und daß die Periode unter Berücksichtigung anderer Gegebenheiten wie Kosten und Herstellungsausbeute so gering wie praktisch möglich sein sollte. Die zwei Berechnungen sind in demselben Graphen dargestellt. Es wird die Drahtgitterelementhöhe t , bei welcher sich die beiden Kurven schneiden, aufgefunden. Die Extinktion als eine Funktion der Drahtgitterelementhöhe t wird nun für beide Winkel berechnet, und die Extinktion bei der Kreuzungspunkthöhe t aufgefunden. Wenn die Leistung nicht zufriedenstellend ist, wird einer der kritischen Parameter geändert und der Designvorgang wiederholt. Um das beste Design aufzufinden, können Antwortflächenverfahren (response surface methods) wie die in A. I. Khuri und J. A. Cornell, Response Surfaces: Design and Analysis, 2. Auflage, Marcel Dekker Inc., NY 1996, durchgerechnet werden. Wenn die Extinktionsleistung zufriedenstellend ist, wird die P-Transmission als eine Funktion des Einfallswinkels θ für drei unterschiedliche Wellenlängen 450 nm, 550 nm und 650 nm berechnet. Wenn die Transmission bei ungefähr 80% liegt und annähernd eben über den speziellen Winkelbereich ist, dann ist das Design fertig. [Fig. 8a](#) zeigt beispielsweise die P-Transmission als eine Funktion der Drahtgitterelementhöhe t für einen Polarisierer, welcher ein Array von Aluminiumdrahtgitterelementen mit optischen Eigenschaften nach Palik auf einem BK7-Glassubstrat ist. Die Periode p ist $0,16\text{ }\mu\text{m}$, das Linienbreite-zu-Periode-Verhältnis beträgt 0,45, der Einfallswinkel θ beträgt 30° und 60° und die Wellenlänge λ beträgt 450 nm. Der Kreuzungspunkt liegt bei ungefähr $0,09\text{ }\mu\text{m}$.

[0087] [Fig. 8b](#) zeigt die Extension als eine Funktion der Drahtgitterelementhöhe t für diese Parameter. Bei dem Kreuzungspunktwert von $0,09\text{ }\mu\text{m}$ beträgt die Extinktion 86 und 161 bei 30° bzw. 60° . Somit ist die Leistung nicht zufriedenstellen. Der Vorgang wird mit einem Linie-Abstand-Verhältnis von 0,50 wiederholt.

[0088] [Fig. 8c](#) entspricht [Fig. 8a](#), jedoch mit der Ausnahme, daß das Linie-Abstand-Verhältnis in 0,5 geändert ist. Der Kreuzungspunkt liegt nun bei ungefähr $0,10\text{ }\mu\text{m}$.

[0089] [Fig. 8d](#) zeigt die Extinktion als eine Funktion der Drahtgitterelementhöhe t für die in [Fig. 8c](#) verwendeten Parameter. Bei dem Kreuzungspunktwert von $0,10\text{ }\mu\text{m}$ beträgt die Extinktion 258 und 484 bei 30° bzw. 60° . Somit ist die Leistung des Polarisierers zufriedenstellend. Die Ergebnisse werden nun durch Berechnung der P-Transmission als eine Funktion

des Einfallswinkels θ für 3 verschiedene Wellenlängen λ 450 nm, 550 nm und 650 nm, unter Verwendung der gleichen, in [Fig. 8c](#) und [Fig. 8d](#) verwendeten Parameter mit einer Drahtgitterelementhöhe t von 0,100 μm berechnet, wie es in [Fig. 8e](#) gezeigt ist. Die Transmission ist über den Winkelbereich für 450 nm eben, während bei 550 nm und 650 nm die Transmission von 80% bei 30° auf 88% bei 60° zunimmt.

[0090] Obgleich die Effizienz nicht gezeigt ist, nimmt diese mit zunehmendem Winkel zu. Somit ist unter Bezugnahme auf die [Fig. 8a](#) bis [Fig. 8e](#) eine Darstellung eines Verfahrens zum Entwerfen eines Drahtgitterpolarisierers mit guter Leistung in dem sichtbaren Spektrum dargestellt.

[0091] Es ist verständlich, daß die beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung lediglich veranschaulichend sind, und daß Modifikationen daran für den Fachmann naheliegen. Beispielsweise vermindert die Einbeziehung des Drahtgitter-Strahlteilers auf einem Substrat mit optischer Wirkung derart, daß der Gitter-Strahlteiler mit anderen Elementen zum Vermindern der Anzahl von erforderlichen Optiken kombiniert wird, das Systemgewicht, das Systemvolumen, oder zum Erreichen anderer wünschenswerter Funktionen. In Anbetracht der signifikanten Zunahme der Designflexibilität gegenüber dem Stand der Technik, die durch die vorliegende Erfindung erreicht wird, werden dem Fachmann andere Änderungen einfallen. Daher soll diese Erfindung nicht als begrenzt auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele betrachtet werden, sondern ist lediglich so begrenzt, wie es durch die beigefügten Ansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. Ein polarisierender Breitband-Drahtgitter-Strahlteiler (**14**), der im Spektrum des sichtbaren Lichtes von 0,4 bis 0,7 μm arbeitet, wobei der Strahlteiler aufweist:
eine grundsätzlich parallele Anordnung von dünnen, gestreckten Elementen (**30**), wobei die Anordnung so ausgebildet und die Elemente so dimensioniert sind, daß sie mit elektromagnetischen Wellen des sichtbaren Lichtes im Bereich zwischen 0,4 und 0,7 μm in Interaktion treten, um grundsätzlich (i) Licht mit einer Polarisierung, die senkrecht zu einer Ebene, die wenigstens eines der Elemente enthält, orientiert ist, durchzulassen und (ii) Licht mit einer Polarisierung, die in der Ebene, die wenigstens eines der Elemente und die Richtung des einfallenden Lichtstrahl enthält, orientiert ist, zu reflektieren; und
wobei die Anordnung von Elementen (**30**) einen Durchsatz von größer als etwa 50% über im wesentlichen dem gesamten sichtbaren Spektrum von 0,4 bis 0,7 μm aufweist, wobei der Durchsatz definiert ist als das Produkt des Bruchteils einer Polarisierung des reflektierten Lichts im Verhältnis zum gesamten reflektierten Licht und des Bruchteils einer anderen Po-

larisation des durchgelassenen Lichts im Verhältnis zu dem gesamten durchgelassenen Licht; und
wobei die Anordnung der Elemente (**30**) eine Extinktion größer als etwa 50 bei entweder der Reflexion oder der Transmission über den Bereich von 0,4 bis 0,7 μm aufweist; und
wobei die Anordnung der Elemente (**30**) eine Periode von weniger als etwa 0,21 μm aufweist;
wobei die Elemente (**30**) eine Dicke zwischen etwa 0,05 und 0,5 μm haben;
wobei die Elemente (**30**) ein Breite-zu-Periode-Verhältnis zwischen etwa 0,25 bis 0,76 aufweisen;
wobei die Elemente (**30**) jeweils einen trapezförmigen Querschnitt mit einer Unterseite, einer der Unterseite entgegengesetzten Oberseite und einander gegenüberliegenden linken und rechten Seiten aufweisen; und wobei die Seiten gegenüber der Unterseite einen Winkel zwischen etwa 68 und 112 Grad bilden; und
wobei die Elemente (**30**) aus Aluminium oder Silber ausgebildet sind, wobei:
das Aluminium eine optische Konstante n aufweist, welche größer als etwa 50% von 0,618 bei einer Wellenlänge von 450 nm, größer als etwa 50% von 0,958 bei einer Wellenlänge von 550 nm und größer als etwa 50% von 1,47 bei einer Wellenlänge von 650 nm ist;
wobei das Aluminium eine optische Konstante k aufweist, welche größer als etwa 50% von 5,47 bei einer Wellenlänge von 450 nm, größer als etwa 50% von 6,69 bei einer Wellenlänge von 550 nm und größer als etwa 50% von 7,79 bei einer Wellenlänge von 650 nm ist;
wobei das Silber eine optische Konstante n aufweist, welche größer als etwa 80% von 0,144 bei einer Wellenlänge von 459,2 nm, größer als etwa 80% von 0,120 bei einer Wellenlänge von 536,6 nm und größer als etwa 80% von 0,140 bei einer Wellenlänge von 652,6 nm ist;
wobei das Silber eine optische Konstante k aufweist, welche größer als etwa 80% von 2,56 bei einer Wellenlänge von 459,2 nm, größer als etwa 80% von 3,45 bei einer Wellenlänge von 563,6 nm und größer als etwa 80% von 4,15 bei einer Wellenlänge von 652,6 nm ist.

2. Der Strahlteiler nach Anspruch 1, wobei die Anordnung der Elemente (**30**) wenigstens 67% einer Polarisierung reflektiert.

3. Der Strahlteiler nach Anspruch 1, wobei die Anordnung der Elemente (**30**) wenigstens 67% einer Polarisierung durchläßt.

4. Der Strahlteiler nach Anspruch 1, ferner umfassend eine Lichtquelle (**20**) zum Emitieren eines Quelllichtstrahls mit einer Wellenlänge im Bereich zwischen etwa 0,4 und 0,7 μm ; und wobei die Anordnung der Elemente (**30**) bei einem Einfallswinkel zwischen etwa 0 bis 80 Grad orientiert ist.

5. Der Strahlteiler nach Anspruch 1, wobei die Seiten unterschiedliche Winkel gegenüber der Unterseite aufweisen.

6. Der Strahlteiler nach Anspruch 1, wobei die Elemente (30) jeweils eine abgerundete Oberseite aufweisen.

7. Der Strahlteiler nach Anspruch 1, wobei die Elemente (30) jeweils einen sinusförmigen Querschnitt aufweisen.

8. Ein Verfahren zum Entwerfen eines polarisierenden Breitband-Drahtgitter-Strahlteilers (14) nach Anspruch 1, der über einen gewünschten Bereich von Einfallswinkeln betreibbar und über im wesentlichen das gesamte sichtbare Spektrum hinweg betreibbar ist und eine vorgegebene Extinktion aufweist, wobei das Verfahren umfaßt:

Bestimmen der Transmissionseffizienz für die vorgegebene untere und obere Grenze der Einfallswinkel bei verschiedenen Elementdicken unter Verwendung einer unteren Grenze des sichtbaren Spektrums;

Aufwählen weiterer Parameter, die zumindest die Periode und das Breite-zu-Periode-Verhältnis einschließen;

Bestimmen der Elementdicke, bei welcher die Transmissionseffizienz für die obere und die untere Grenze der Einfallswinkel gleich ist;

Bestimmen der Extinktion für die bestimmte Elementdicke bei sowohl der oberen als auch der unteren Grenze der Einfallswinkel; und

Wiederholen der obigen Schritte, während zumindest einer der Parameter variiert wird, bis die vorgegebene Extinktion erreicht ist.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

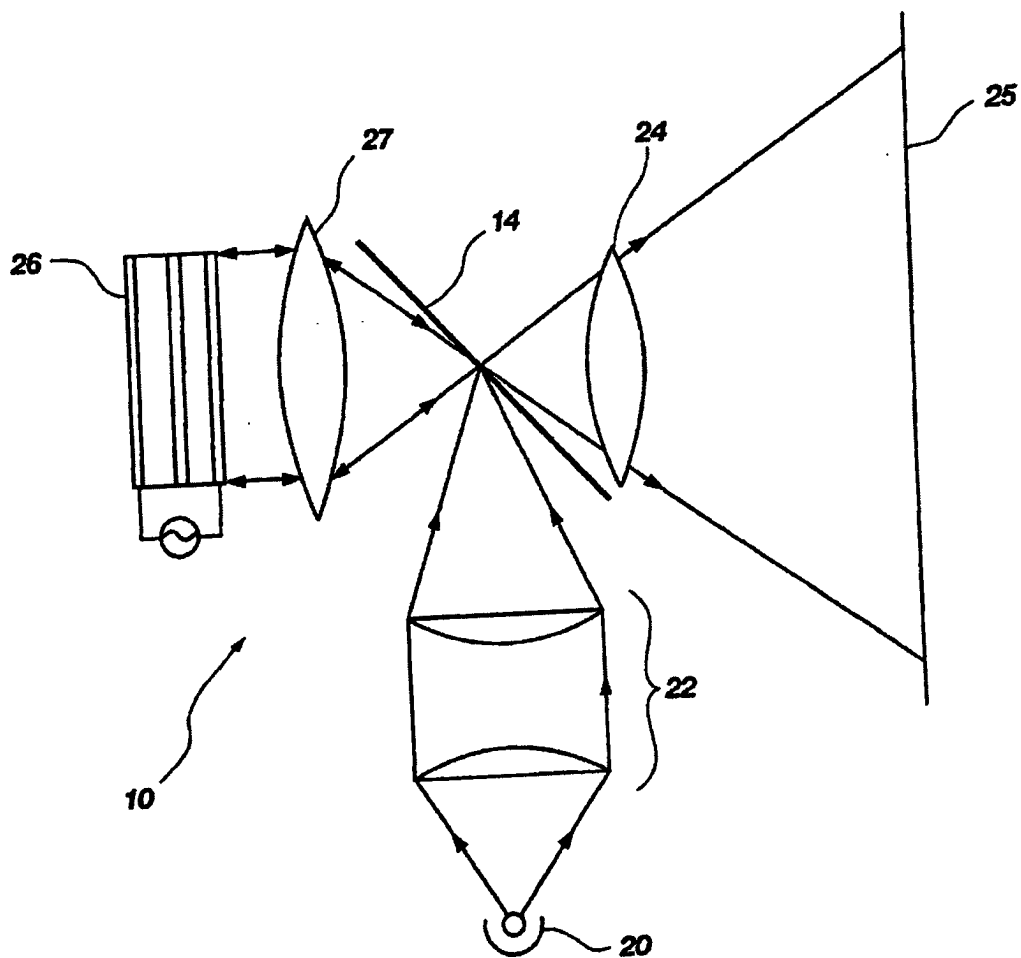


Fig. 1

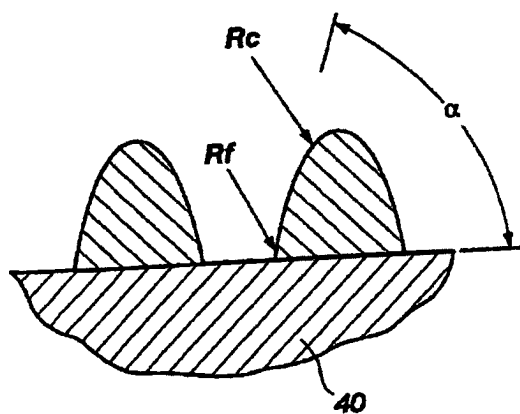


Fig. 2d

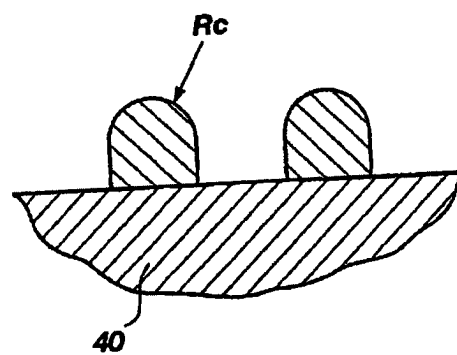


Fig. 2c

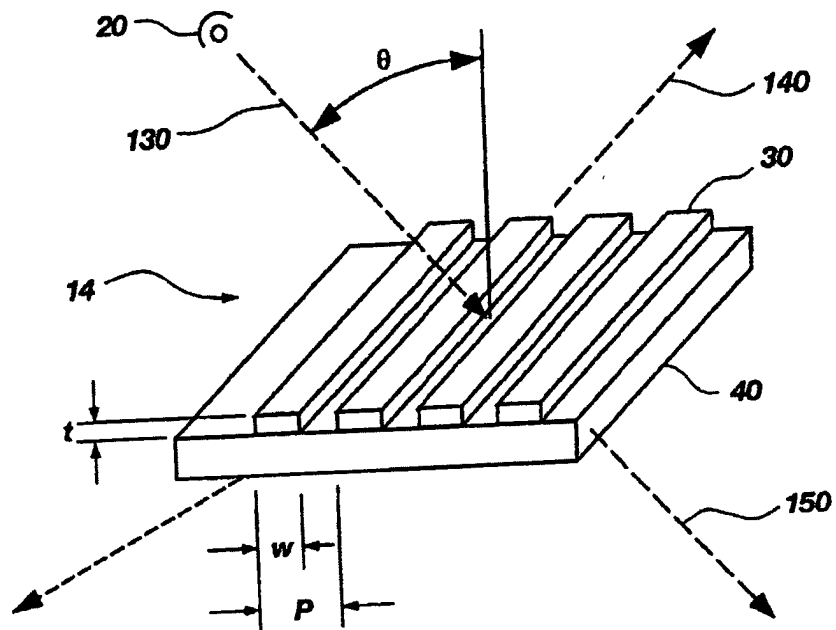


Fig. 2A

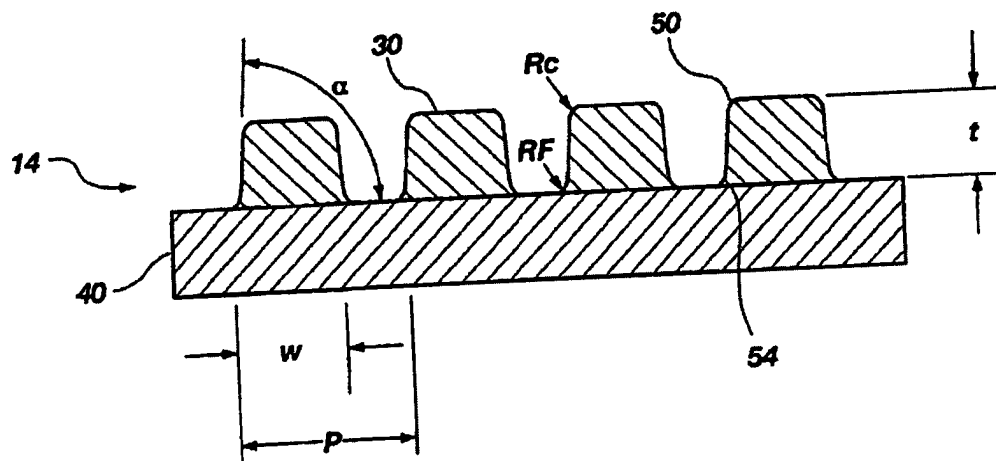


Fig. 2B

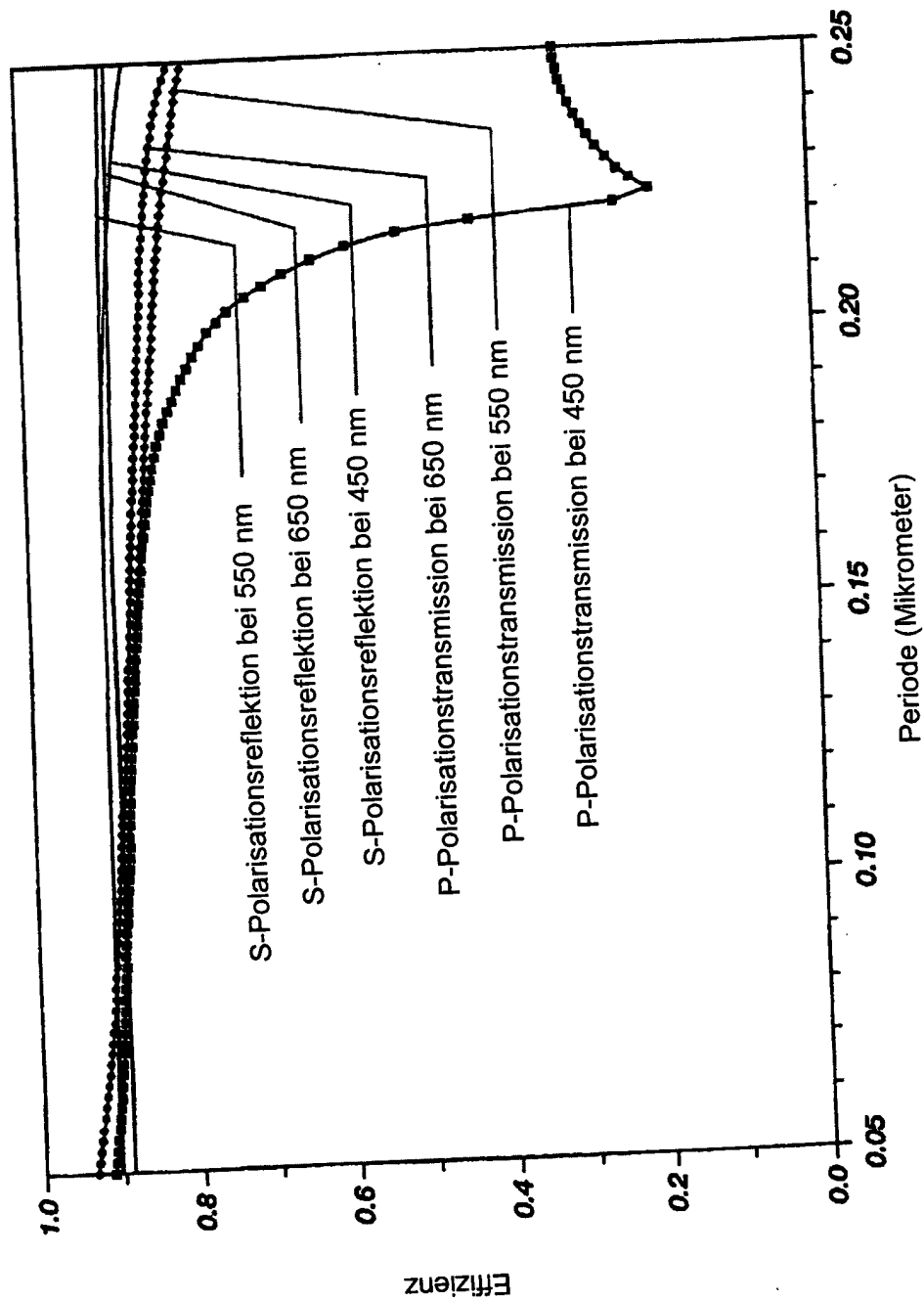


Fig. 3A

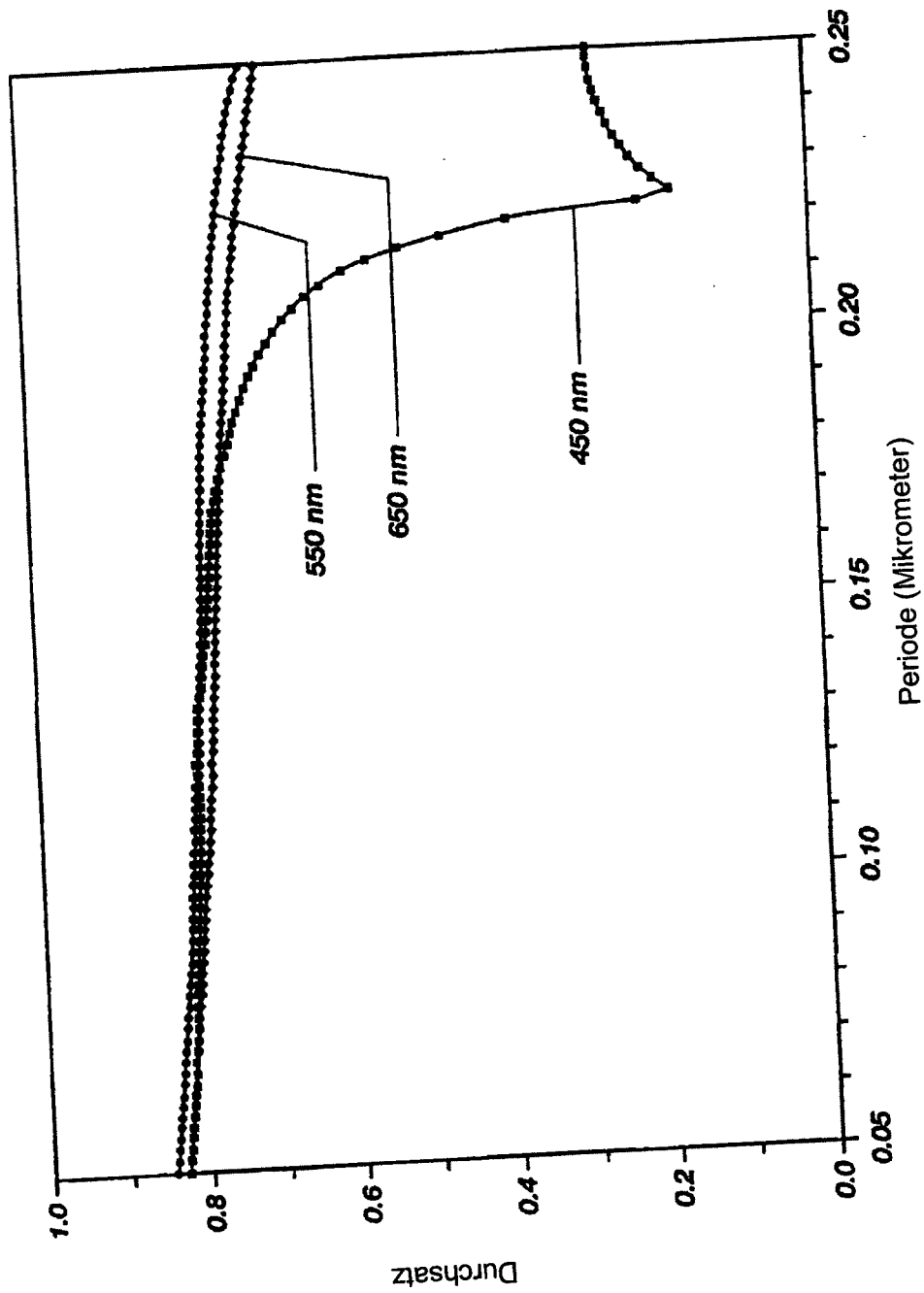


Fig. 3B

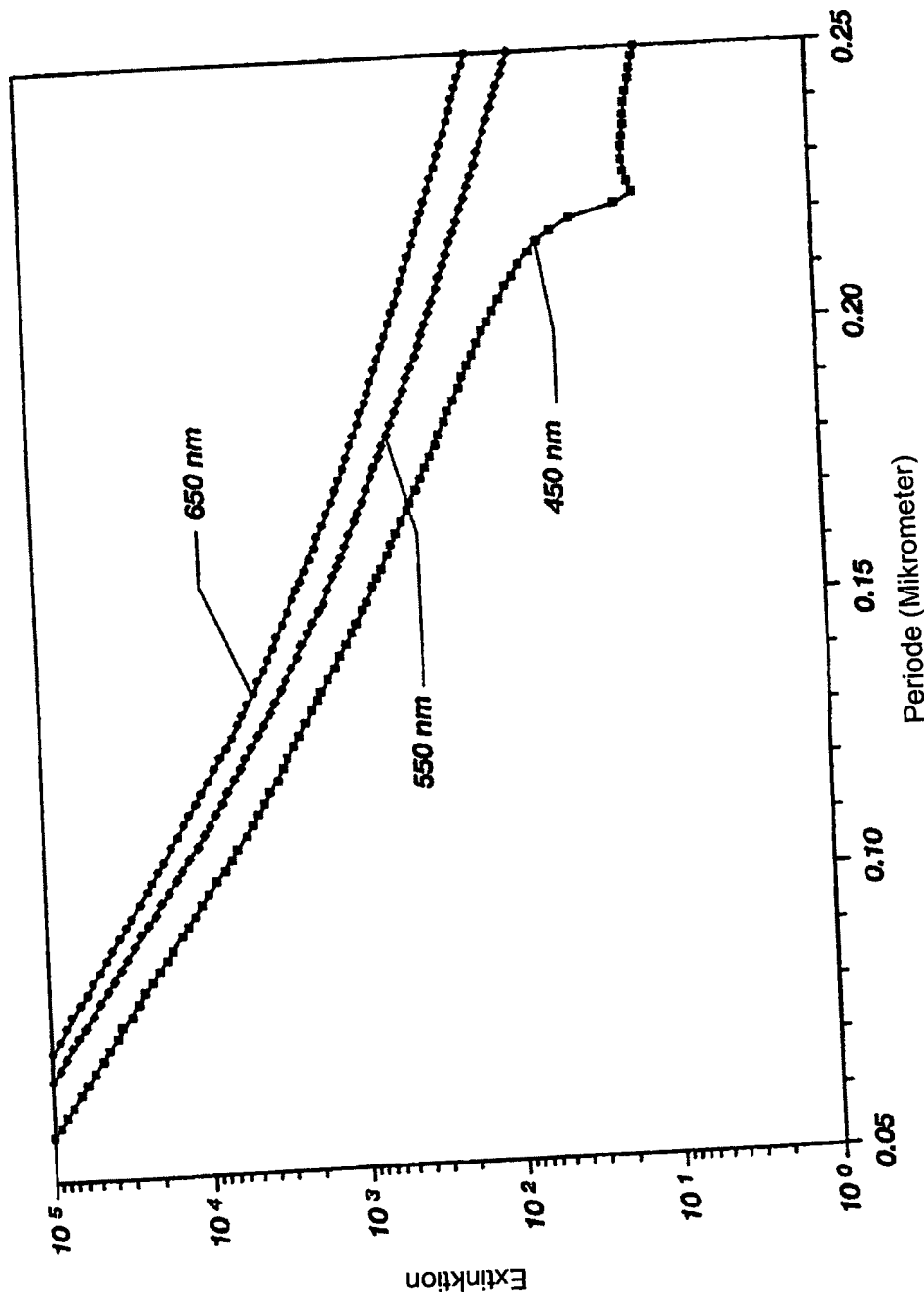


Fig. 3C

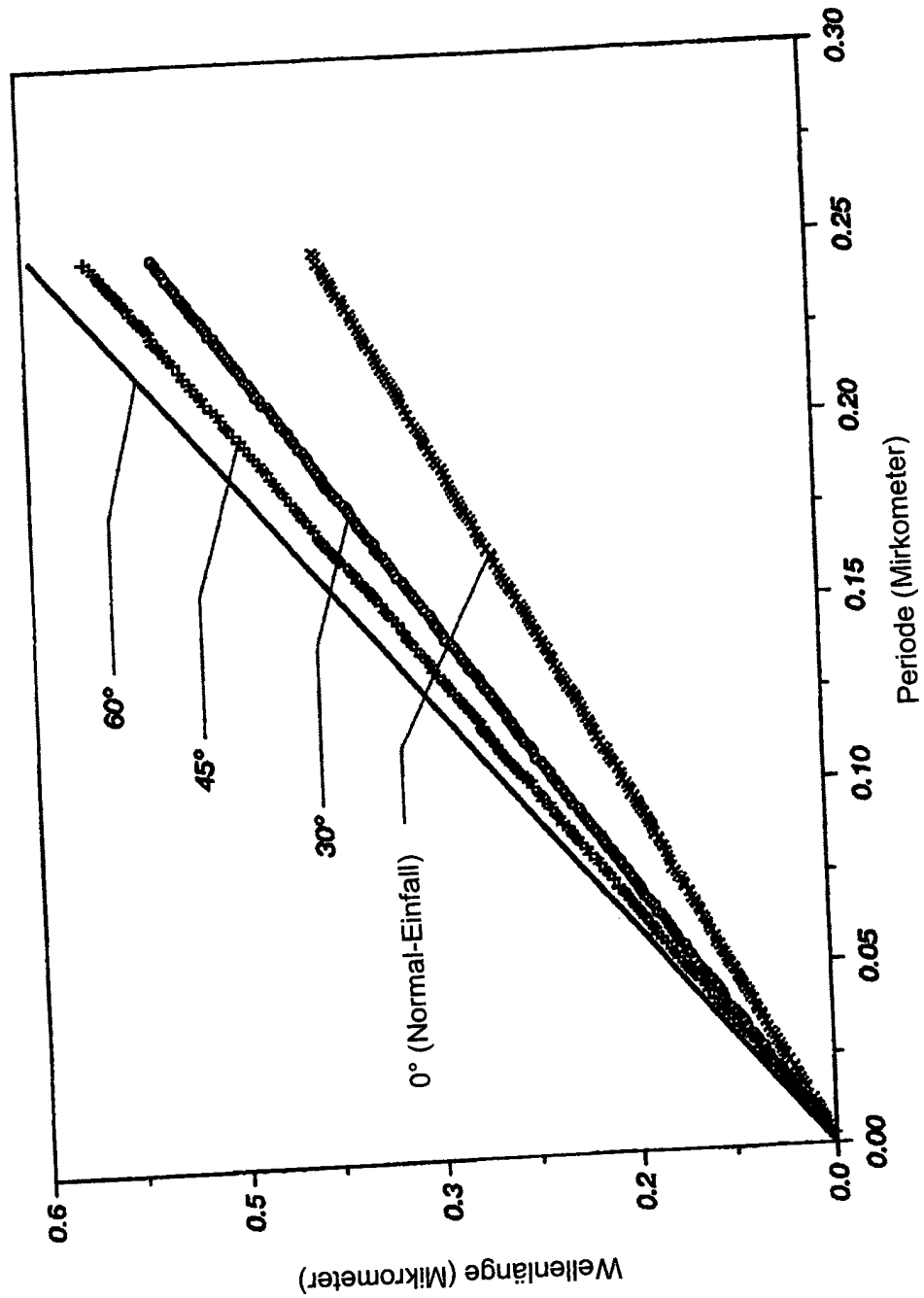


Fig. 3D

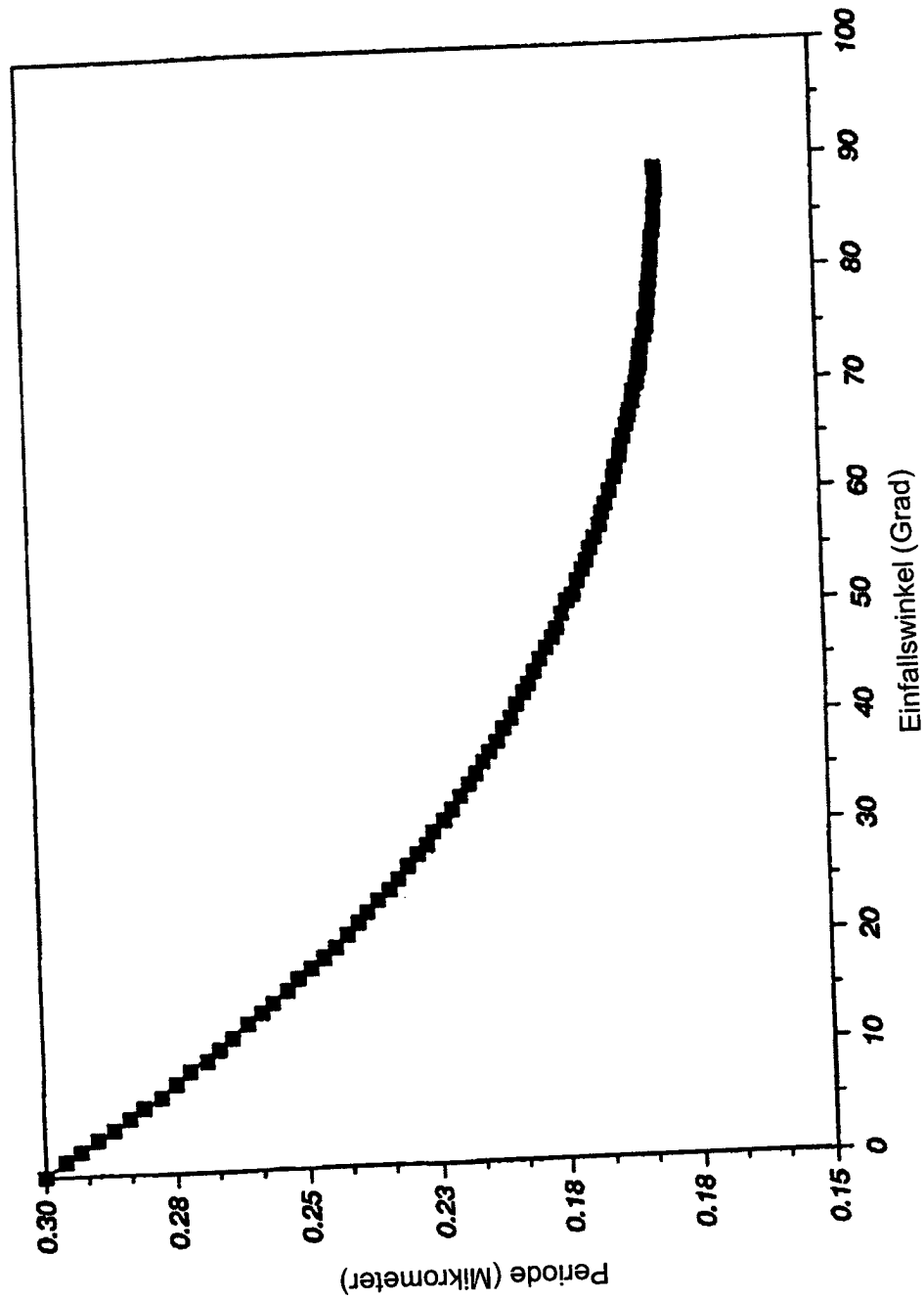
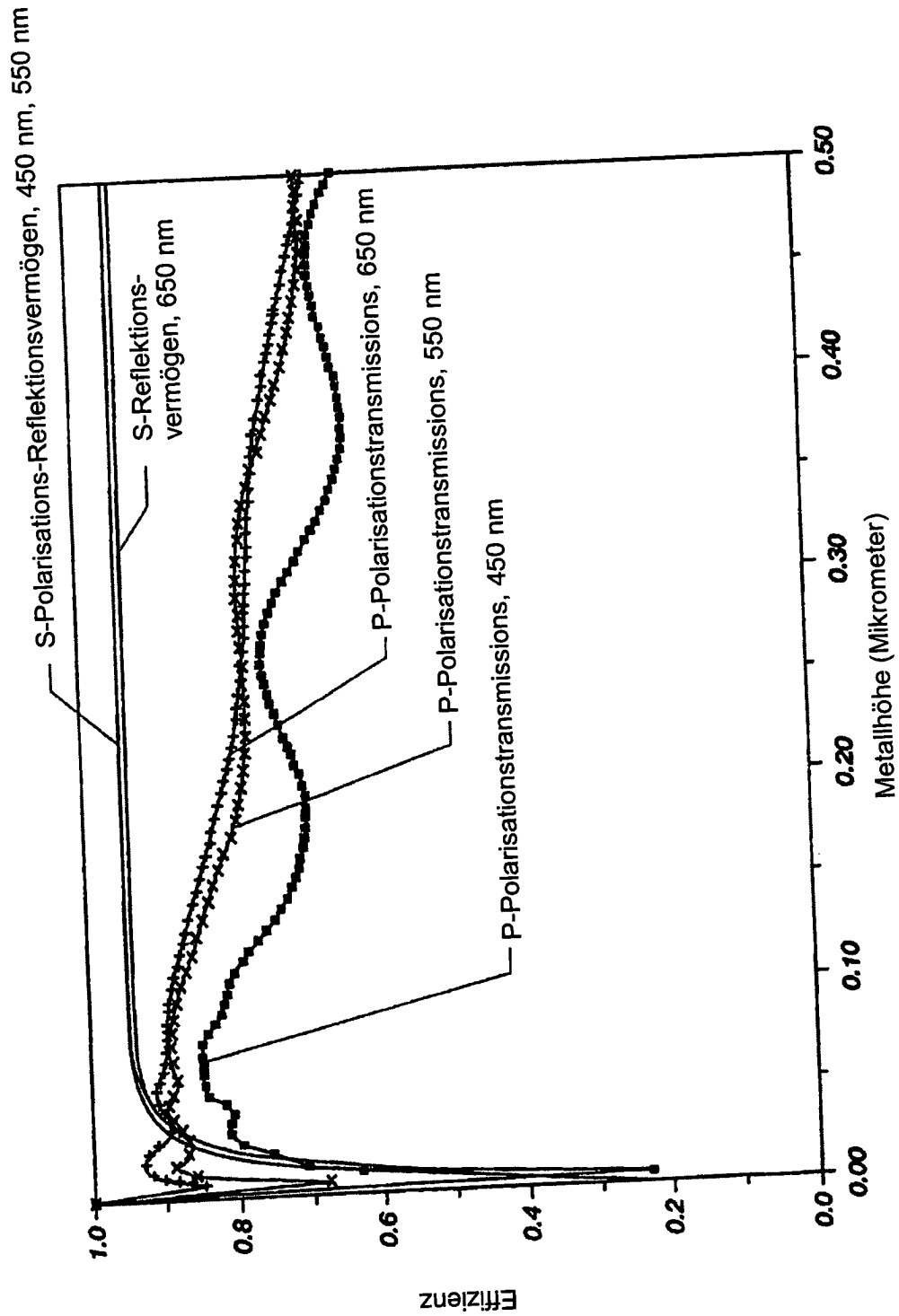


Fig. 3E

**Fig. 4A**

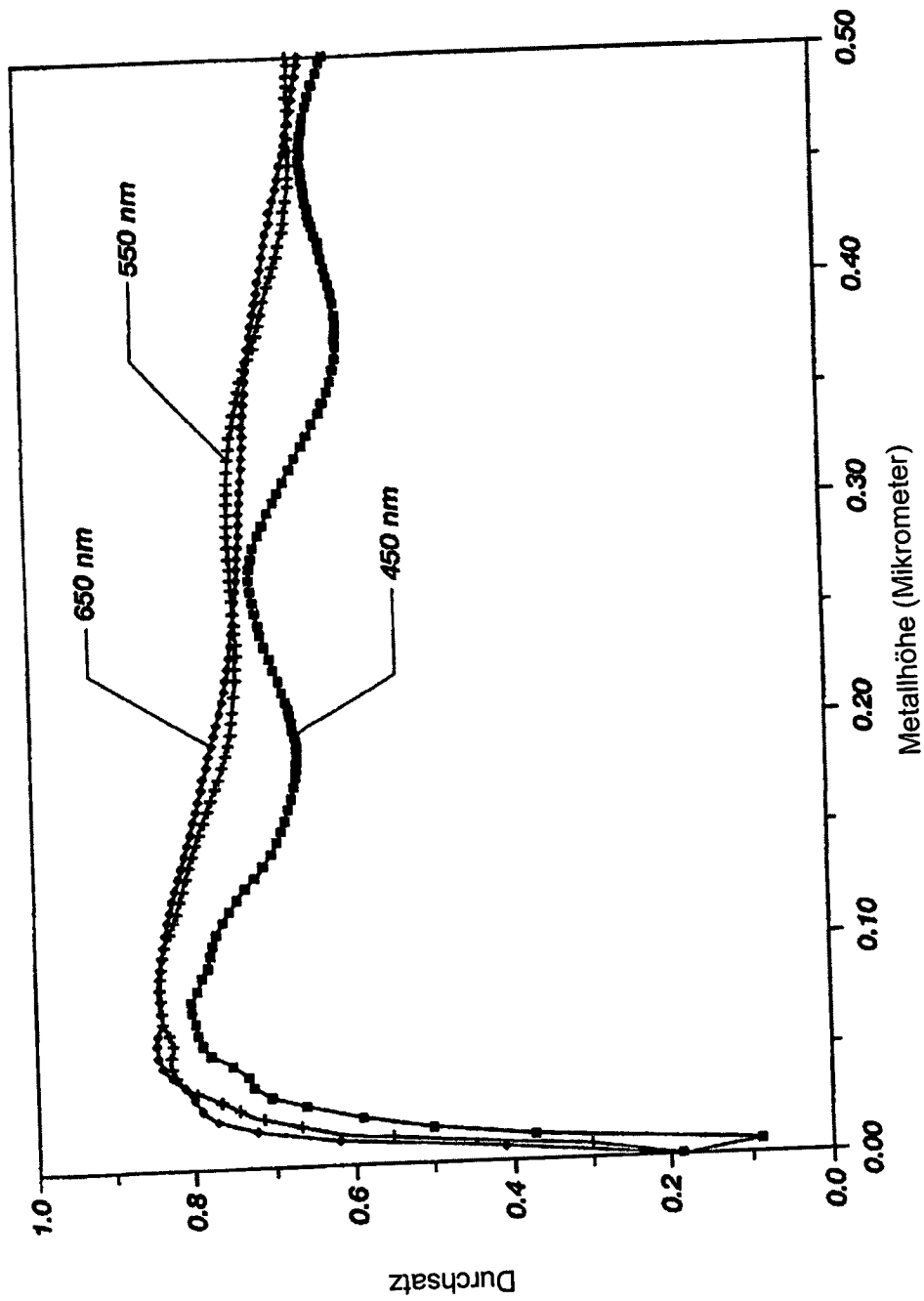


Fig. 4B

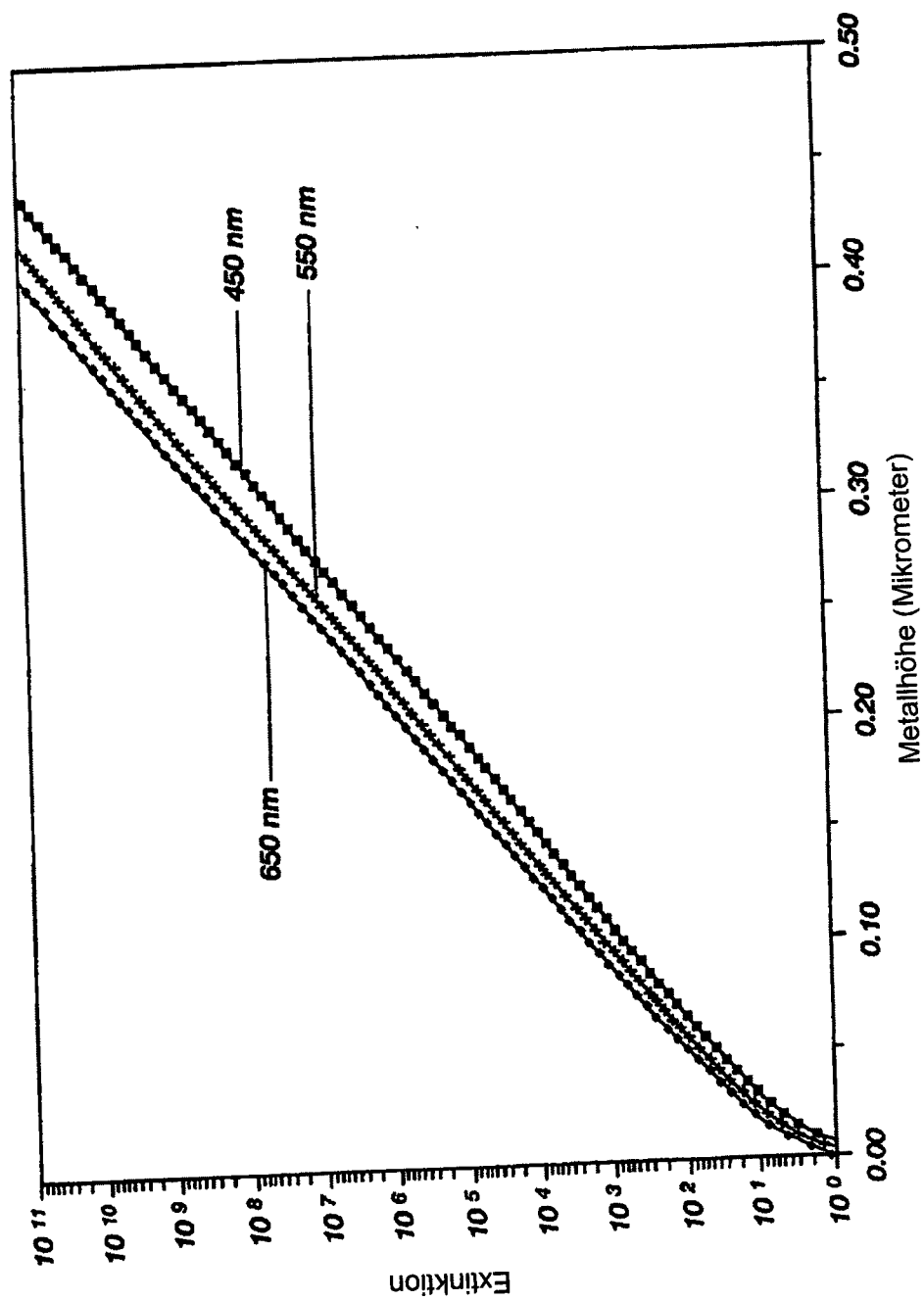


Fig. 4C

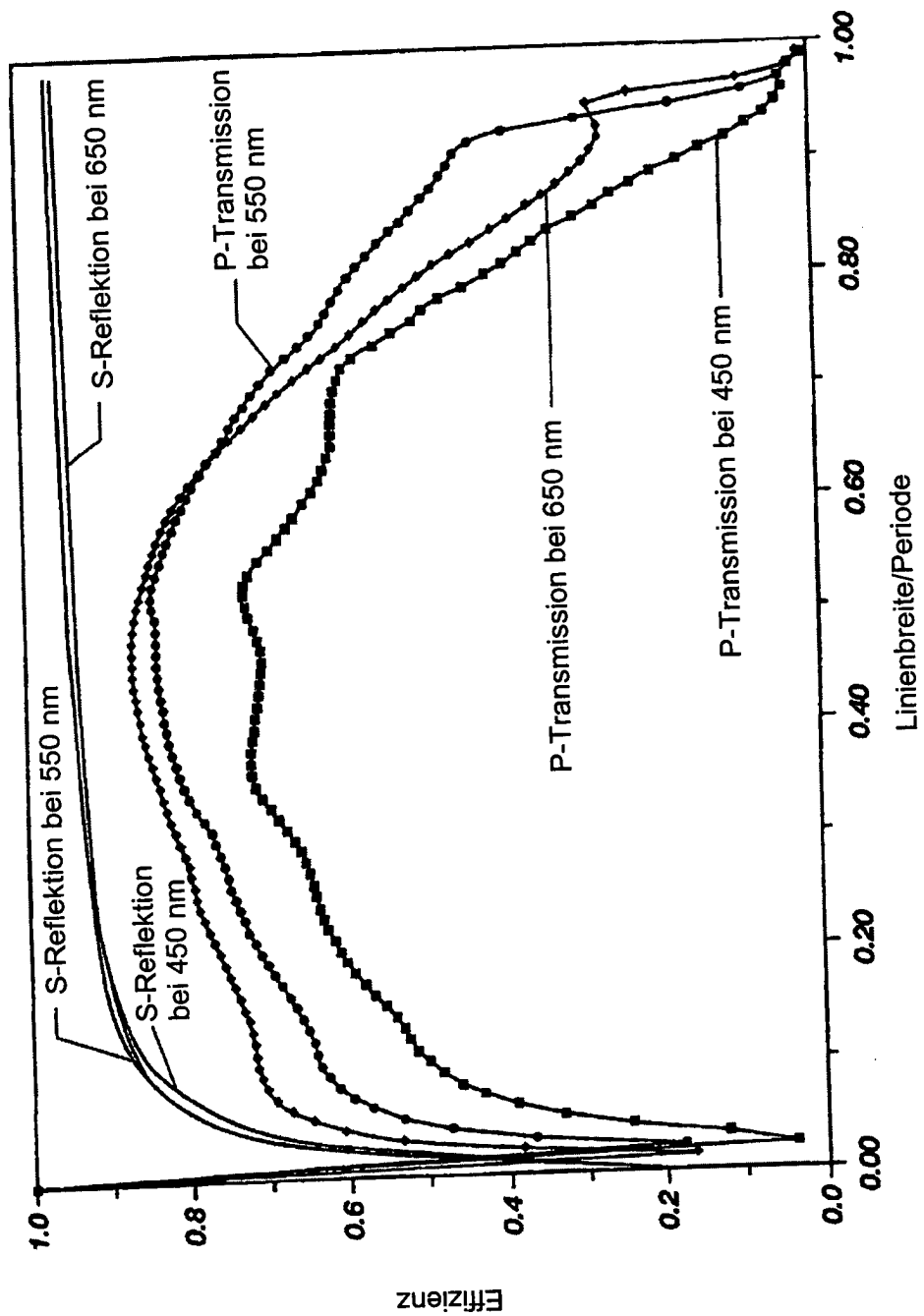


Fig. 5A

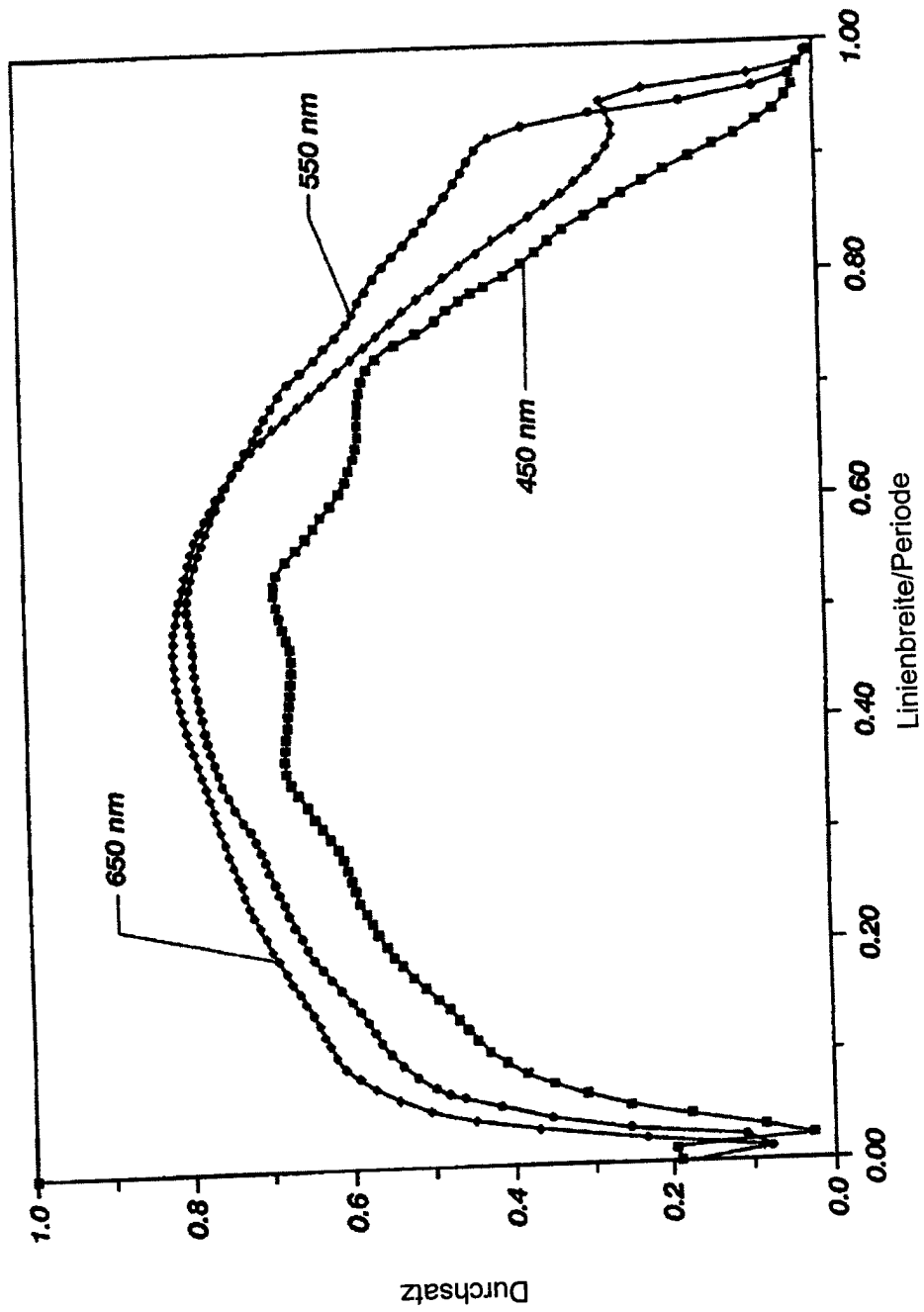


Fig. 5B

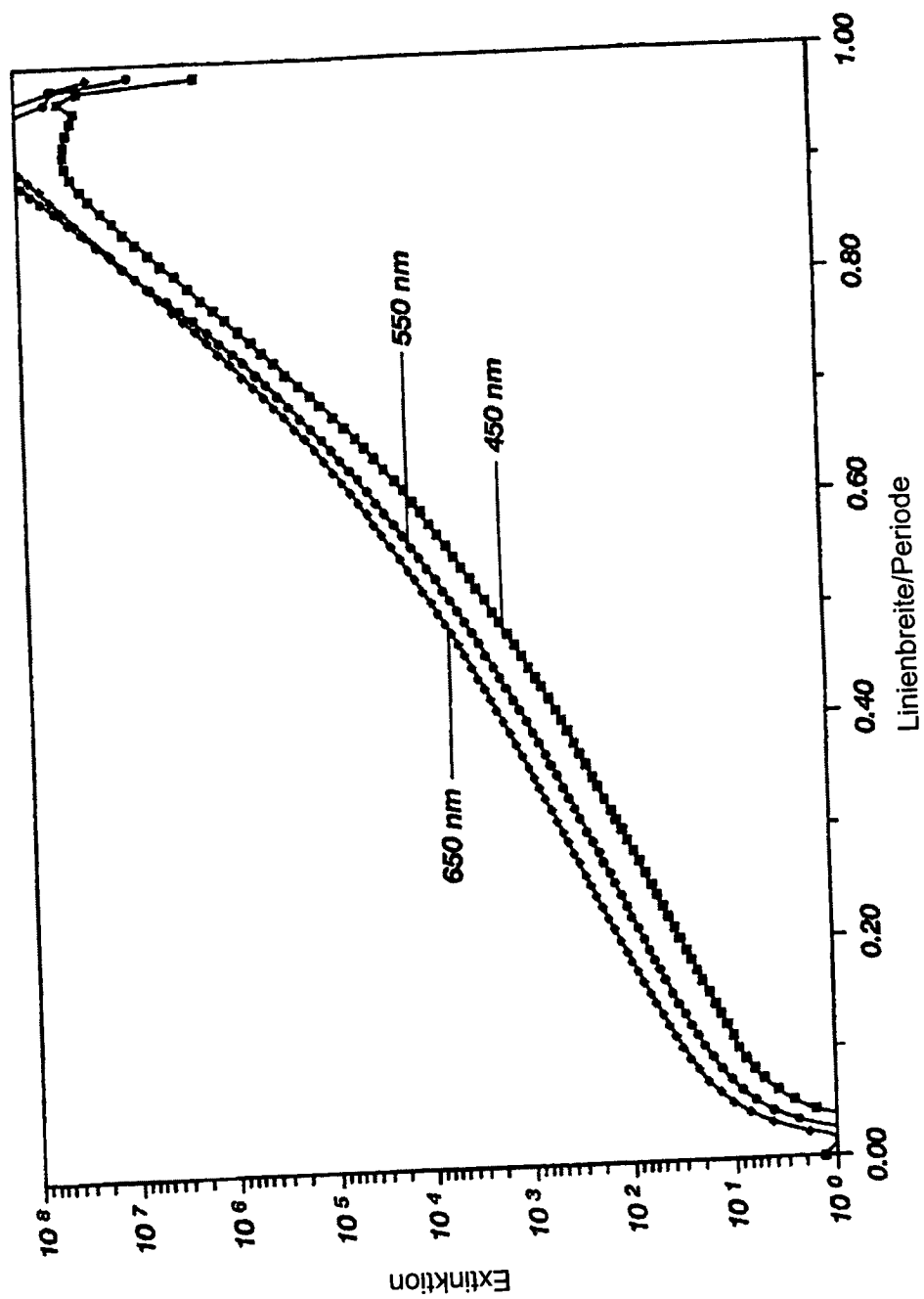


Fig. 5C

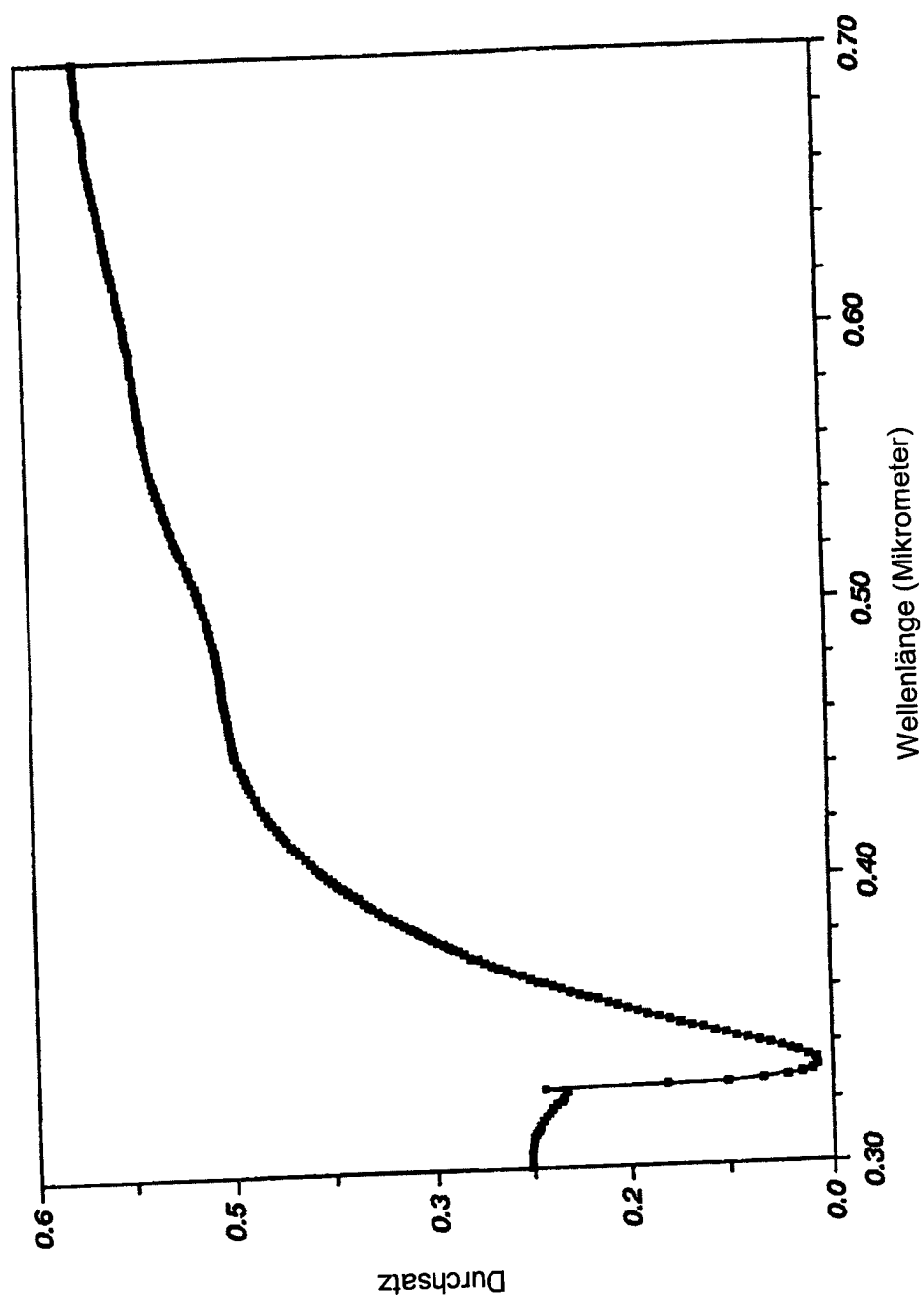


Fig. 6A

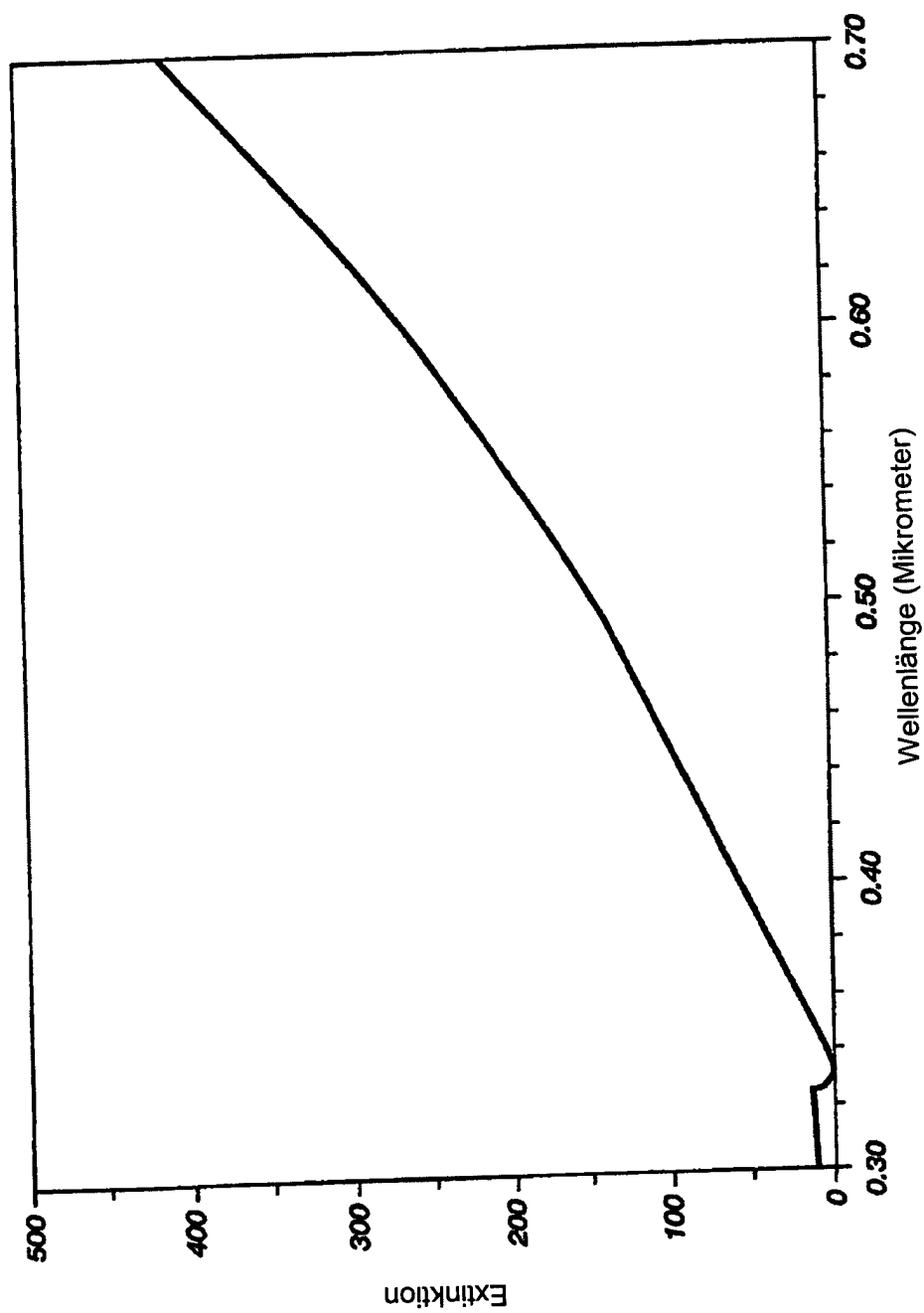


Fig. 6B

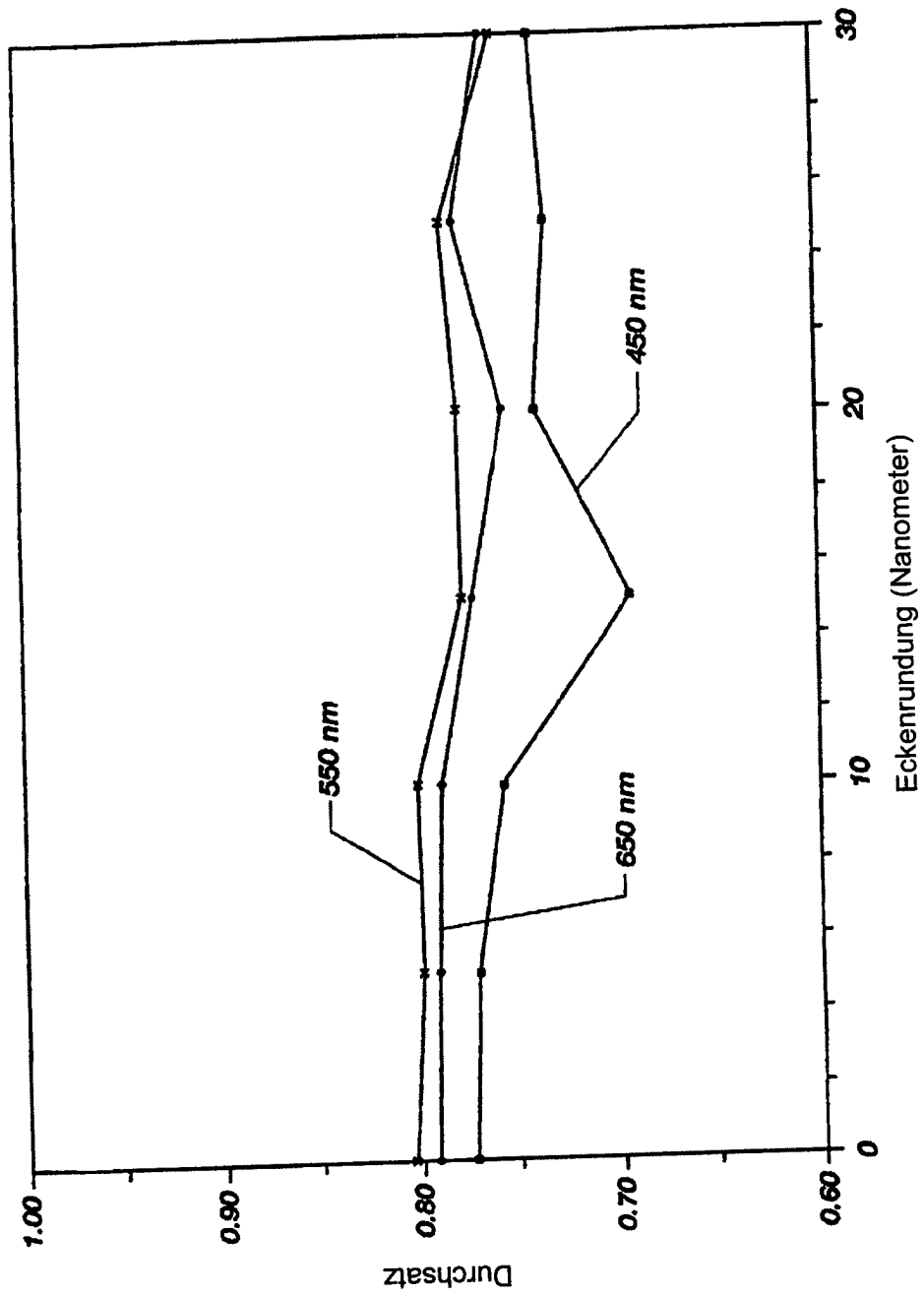


Fig. 7A

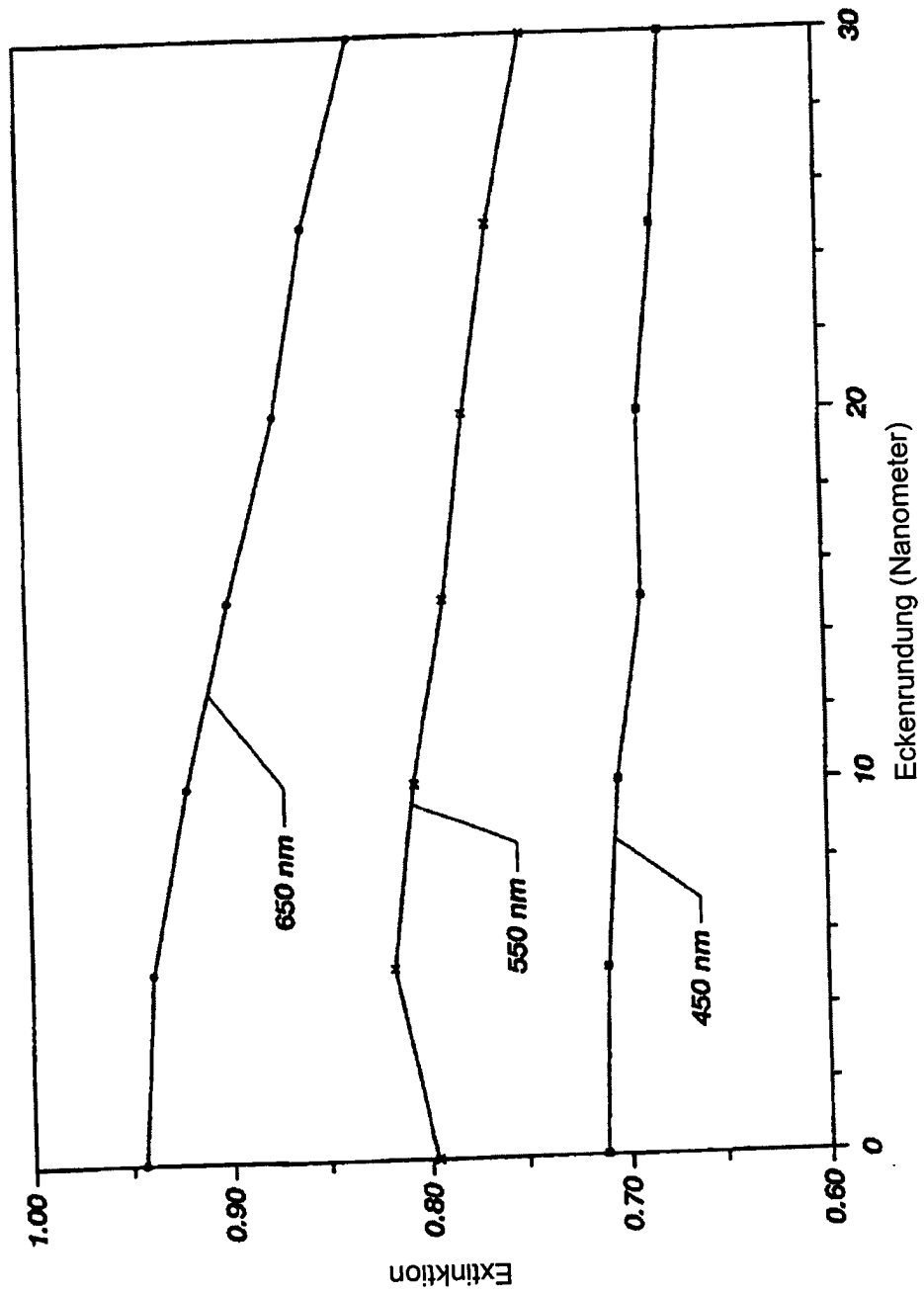


Fig. 7B

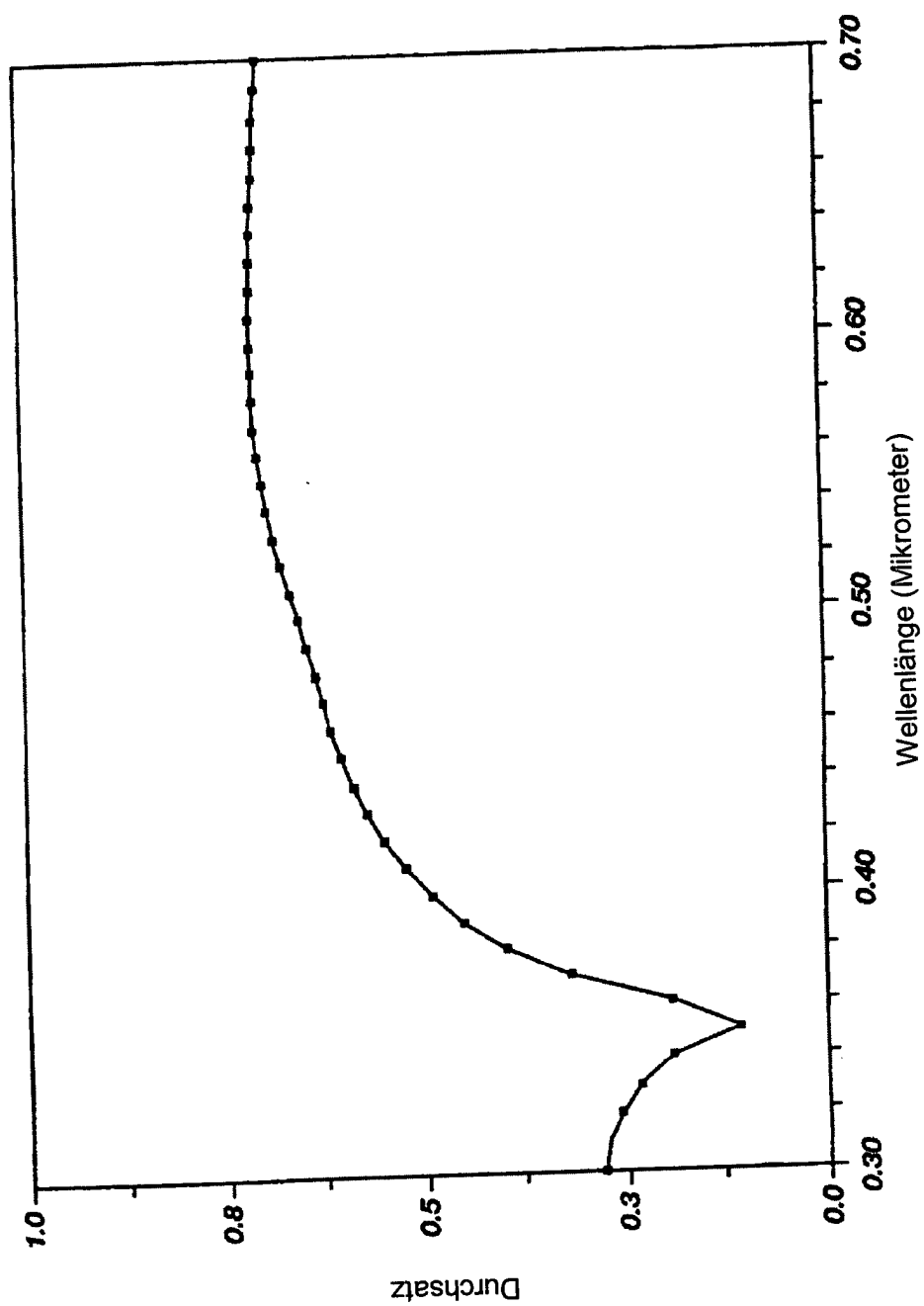


Fig. 7C

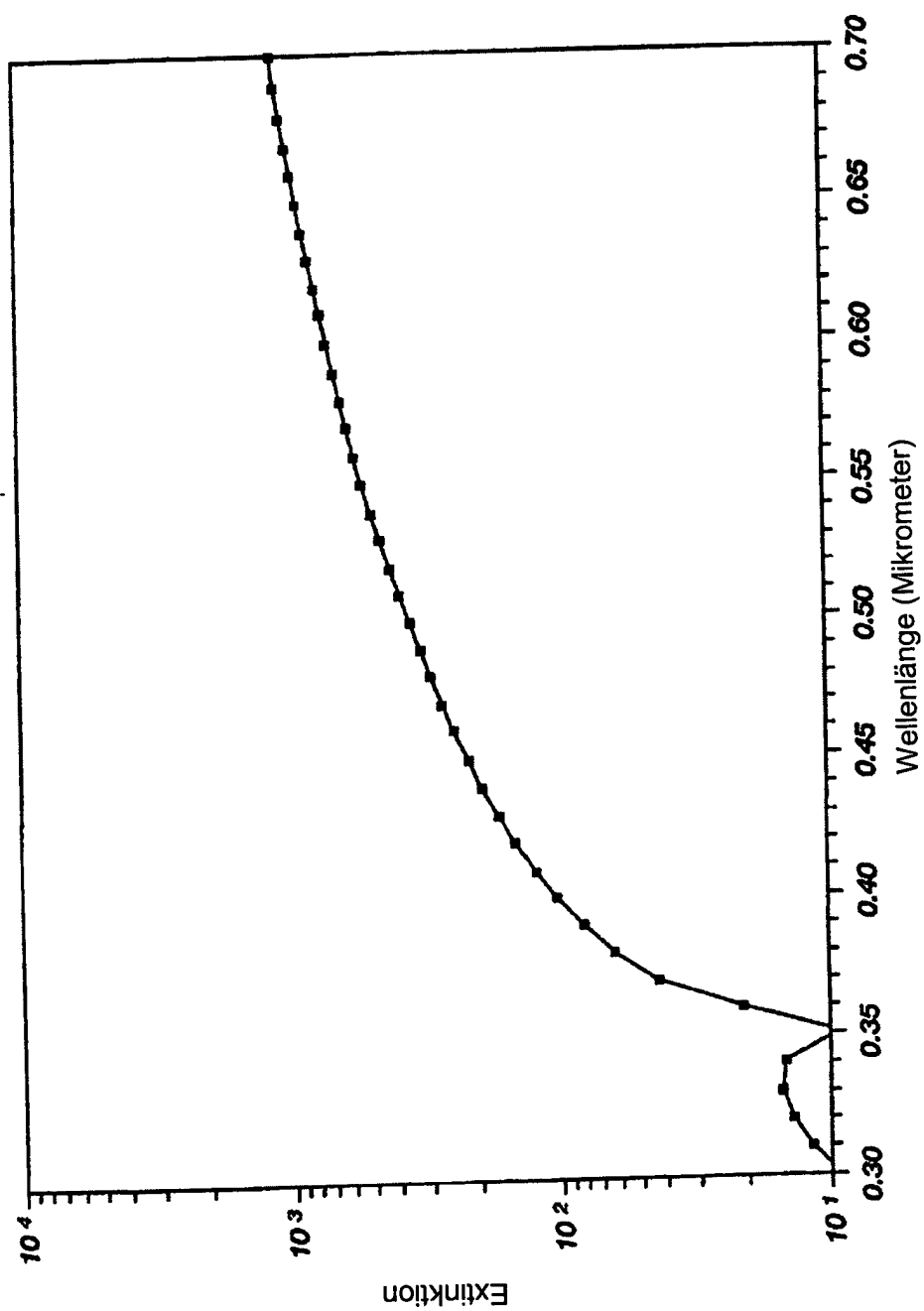


Fig. 7D

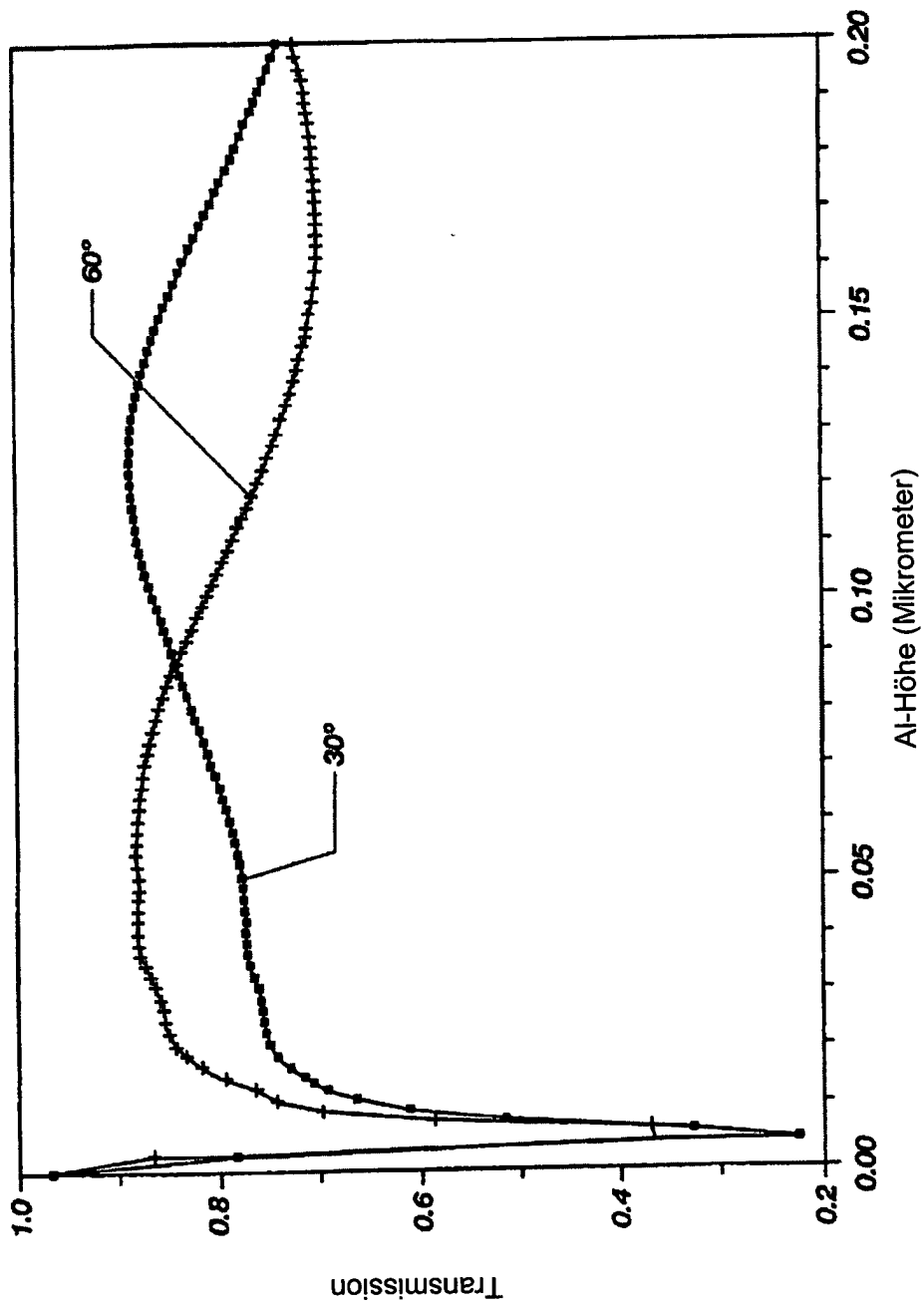


Fig. 8A

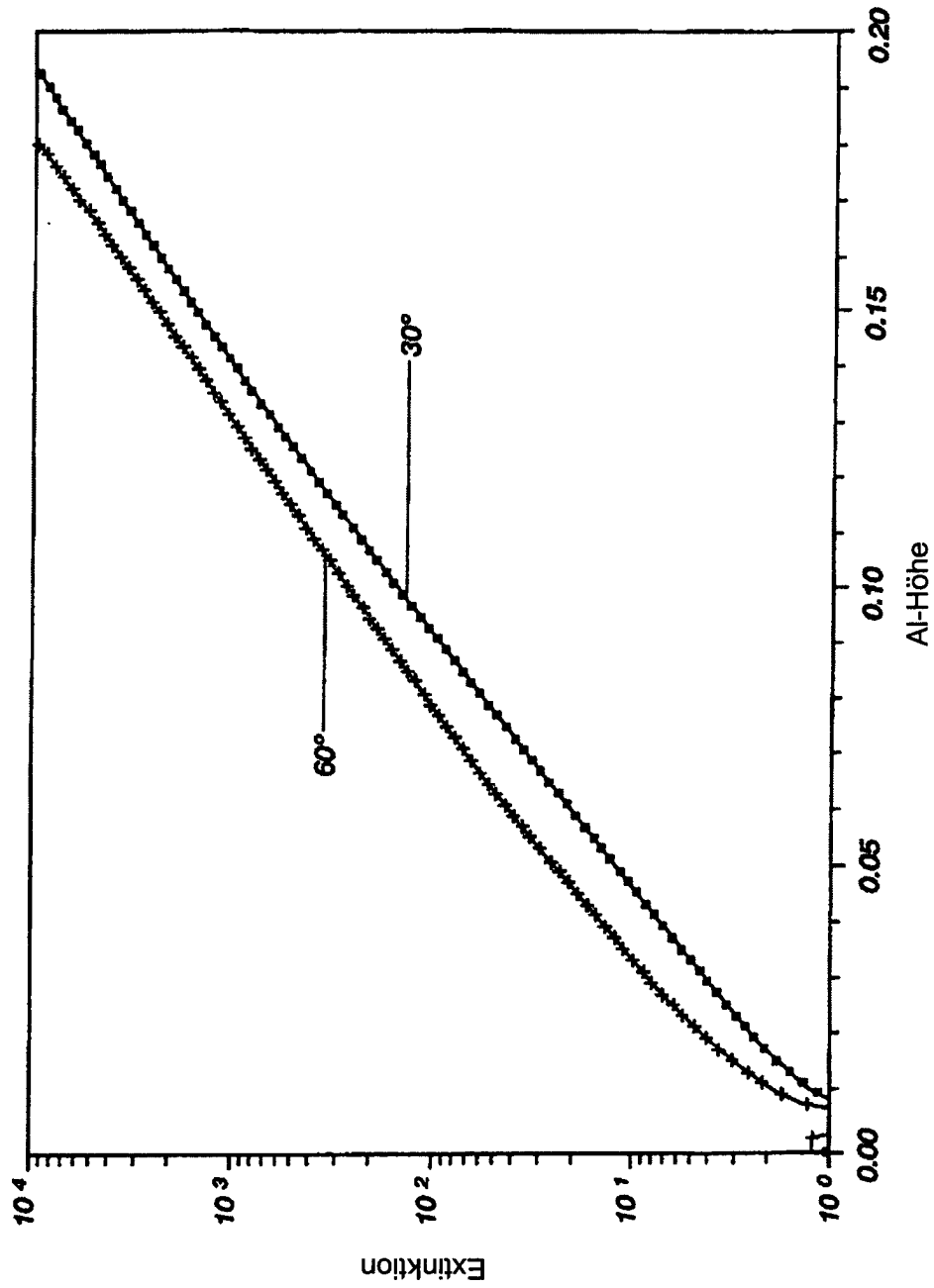


Fig. 8B

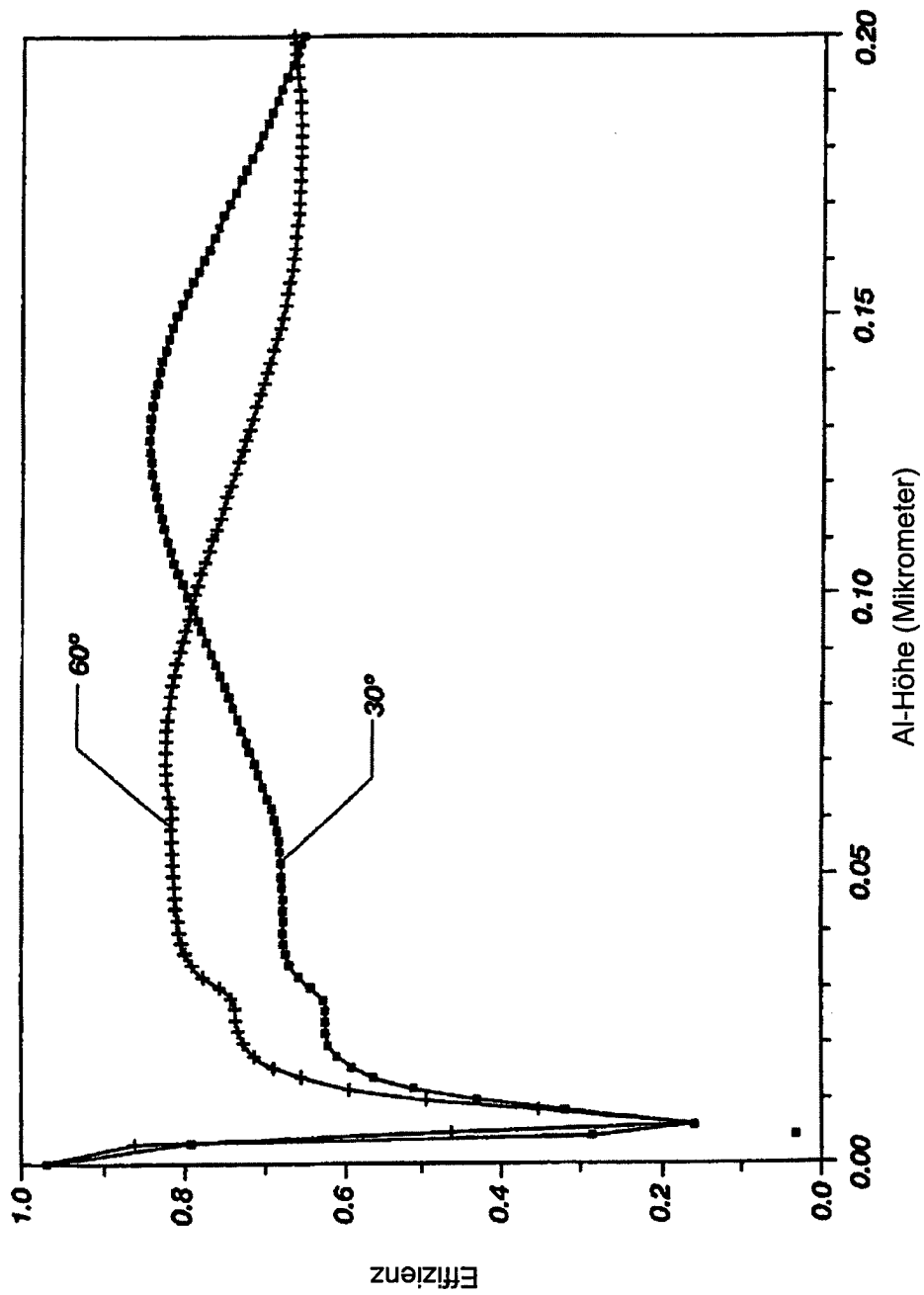


Fig. 8C

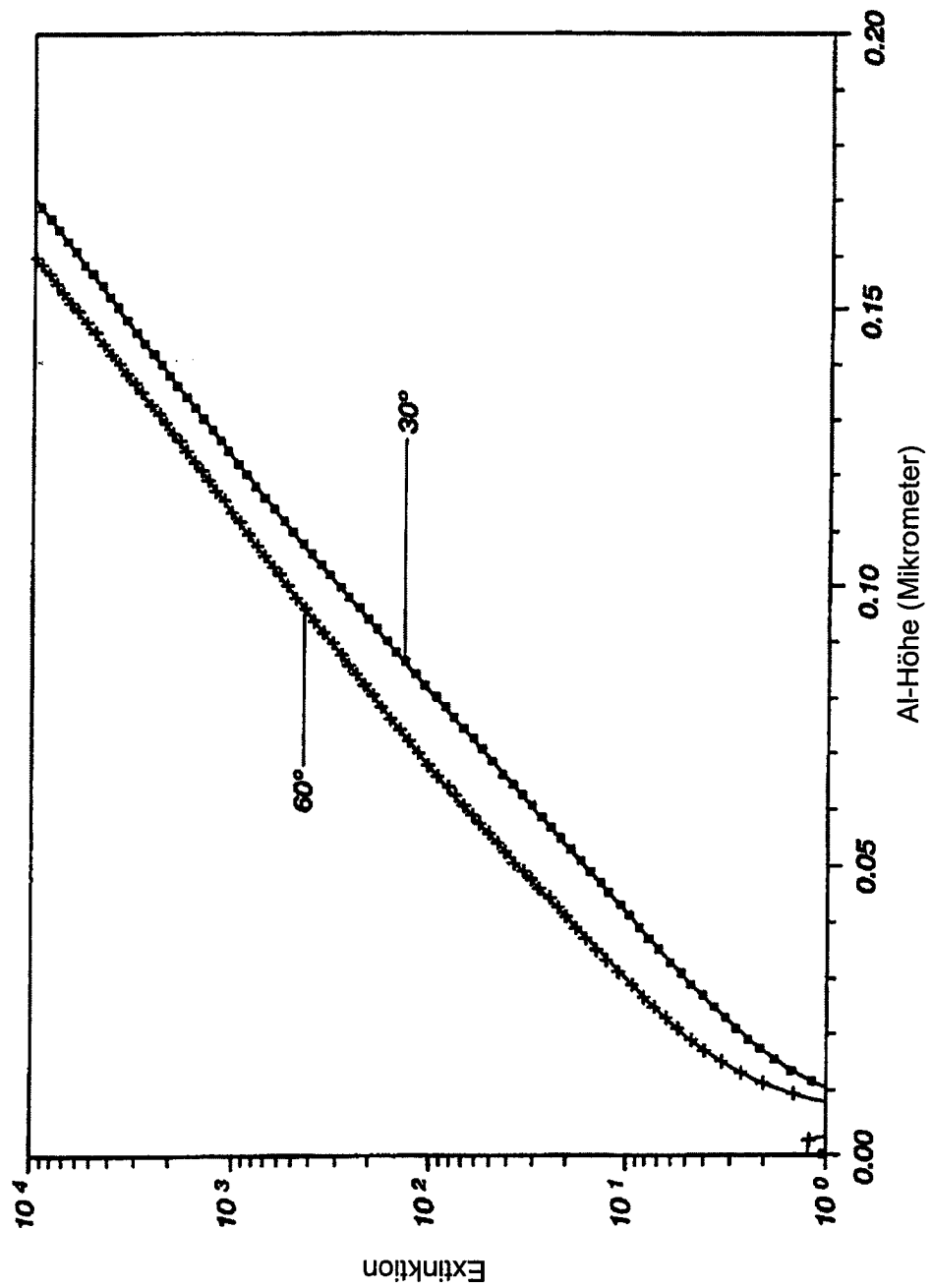


Fig. 8D

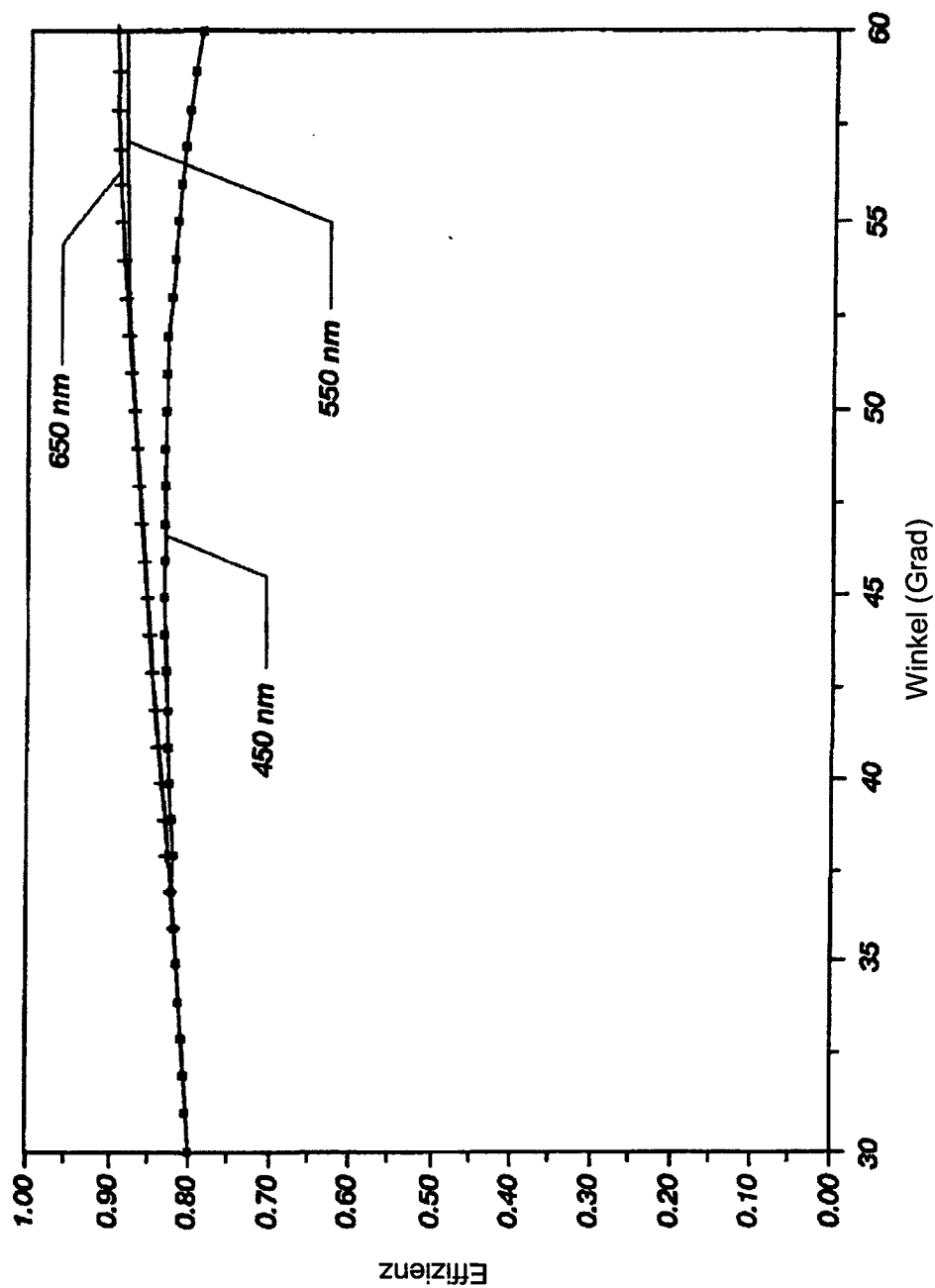


Fig. 8E