



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 20 374 T2 2006.02.02**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 203 244 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 1/11 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 20 374.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/20410**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 953 693.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/009647**

(86) PCT-Anmeldetag: **27.07.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **08.02.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **25.05.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.02.2006**

(30) Unionspriorität:
364748 30.07.1999 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:
**Haaland, Peter D., Louisville, Col., US; Mckoy, B.
Vincent, Flintridge, Calif., US**

(72) Erfinder:
**Haaland, Peter D., Louisville, US; McKoy, B.
Vincent, Flintridge, US**

(74) Vertreter:
**Luderschmidt, Schüler & Partner GbR, 65189
Wiesbaden**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines entspiegelten Artikels**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen Verfahren zur Verbesserung der Lichttransmission durch optische Materialien wie Brillenlinsen und gleichzeitig auch zum Reduzieren der Reflexion von Streulicht, das zu einem Glänzen von optischen Materialien führt. Die Erfindung betrifft ferner das Kontrollieren der wahrgenommenen Farbe des Lichtes, das von der Oberfläche eines optischen Materials reflektiert wird.

[0002] Alle nicht beschichteten, optisch transparenten Materialien reflektieren einen Anteil des eingefallenen Lichts. Der Betrag der Reflexion variiert mit der Wellenlänge, der Polarisation und dem Einfallswinkel des Lichtes und auch mit dem von der Wellenlänge abhängigen Brechungsindex n des Materials. Diese Fresnel Reflexion wird durch die Maxwell Gleichungen für elektromagnetische Strahlung beschrieben, was dem Fachmann auf dem Gebiet der Optik bekannt ist, und wird z. B. von M. Born und E. Wolf in Principles of Optics, New York, Pergamon Press (1980) beschrieben. Es ist ebenfalls bekannt, dass Schichten von transmissiven Materialien mit Brechungsindices, die sich von denen des Substrats unterscheiden, den Betrag der Reflexion reduzieren können. Der Betrag dieser Reduktion hängt ab von dem Wellenlängen abhängigen Brechungsindex der Beschichtungsmaterialien und ihrer Dicke und auch von der Wellenlänge, Polarisation und dem Einfallswinkel des Lichts. Die Gestaltung und die Herstellung dieser Antireflexions (AR) Beschichtungen wird eingehend in den Kapiteln 3 und 5 von H. A. McLeod, Thin Film Optical Filters, New York, McGraw-Hill (1989) beschrieben.

[0003] Die Empfindlichkeit des menschlichen Sehsystems variiert auch mit der Wellenlänge des Lichts und dem Winkel, unter dem es in das Auge eintritt, wie z. B. in Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae von Gunter Wyszecki und W. S. Stiles (New York: Wiley) (1982) and Visual Perception by Nicholas Wade and Michael Swanston (London: Routledge) (1991) beschrieben wird. Ein Problem ist deshalb, die Beschichtungsdicke und die Zusammensetzung so zu wählen, dass Winkel- und Wellenlänge-Variation der Fresnel Reflexion vom beschichteten Artikel, wie von dem menschlichen Sehsystem wahrgenommen, minimiert wird.

[0004] Bei bekannten AR Beschichtungen verwendet man eine oder mehrere dünne Schichten von anorganischen Oxiden, Nitriden oder Fluoriden, um eine Reduktion bei der Reflexion zu bewirken. Übliche dünne Filmmaterialien, die für solche AR Beschichtungen benutzt werden, sind in Kapitel 9 und Anhang I von McLeod beschrieben und schließen Oxide ein von Al, Sb, Be, Bi, Ce, Hf, La, Mg, Nd, Pr, Sc, Si, Ta, Ti, Th, Y und Zr. McLeod's Tabelle umfasst auch Fluoride von Bi, Ca, Ce, Al, La, Na, Pb, Li, Mg, Nd, Na und Th als auch einige Sulfide und Selenide. Eine ähnliche tabellarische Aufstellung ist zu finden in Tabelle 4.1 auf Seite 179 von Optics of Multilayer Systems (Sh. A. Furman und A. V. Tikhonravov, Editions Frontieres: Gif-sur Yvette Cedex – France, 1992). Die Anzahl von Schichten und ihre Zusammensetzung werden im Allgemeinen im Hinblick auf weitere in Betracht zu ziehende Erfordernisse ausgewählt, wozu Härte oder Kratzwiderstand, Adhäsion, Beständigkeit, Leichtigkeit des Abscheidens, Kosten und anderer Faktoren gehören, die Fachleuten auf dem Gebiet der optischen Beschichtungen vertraut sind. Jedoch werden im allgemeinen die Schichtdicken so eingestellt, um den Anteil an einfallendem Licht zu minimieren, das (Reflexionsgrad) bei normalem Einfall und einer oder mehreren speziell angegebenen Wellenlängen reflektiert wird. Ein Problem ist deshalb, eine Reihe von Schichtdicken auszuwählen, die den Betrag des reflektierten Lichtes minimieren oder beachtlich reduzieren, das vom menschlichen Sehsystem über alle relevanten Winkel und Wellenlängen wahrgenommen wird.

[0005] Wie oben beschrieben, variiert der Betrag der Reflexion von einem beschichteten Artikel in Abhängigkeit vom Winkel und der Wellenlänge. Wenn unbeschichtete Brillenlinsen getragen werden, nimmt eine Person, welche auf den Träger schaut, eine Reflexion von Licht der Umgebung wahr, d. h. ein Glänzen. Die Farbe dieser Reflexion ist für unbeschichtete Linsen typischerweise diejenige der Quelle(n) des Lichts der Umgebung, weil die Variation der Reflexion mit der Wellenlänge von einer unbeschichteten Brille ziemlich klein ist.

[0006] Dieses Ergebnis trifft im allgemeinen zu für nur leicht-dispersive Materialien wie Glas, Polycarbonat, Polymethylmethacrylat und andere Brillen-Linsenmaterialien. Eine Darstellung der wellenlängen- und winkel-abhängigen Reflexion für unbeschichtetes Glas wird in [Fig. 5](#) gezeigt.

[0007] Der Betrag des reflektierten Lichts von einem AR beschichteten Artikel variiert erheblich stärker mit der Wellenlänge und dem Winkel, sodass die wahrgenommene Farbe der Reflexion von derjenigen der Lichtquelle abweichen kann. Da diese Farbe die kosmetische Qualität einer Brillenlinse und anderer optischer Substrate beeinflusst, ist es deshalb wünschenswert, die Reflexion zu reduzieren und dabei die wahrgenommene Farbe des reflektierten Lichts zu kontrollieren.

[0008] Die frühere, auf die Anmelderin zurückgehende internationale Anmeldung WO 98/33077 offenbart einen transparenten und transluzenten beschichteten Artikel, der ein wahrnehmbares Reflexionsvermögen F hat, das durch die Formel $F = \int \int S(\lambda\theta)R(\lambda\theta)d\lambda d\theta$ definiert ist und geht das Problem an die Reflexion von Streulicht zu reduzieren, das zu einem Blendeffekt führt, insbesondere durch Herstellen eines Artikels, auf den ein oder mehrere Schichten eines Materials aufgebracht sind, deren Dicke so ausgewählt sind, dass der beschichtete Artikel ein minimales wahrnehmbares Reflexionsvermögen aufweist.

[0009] US Patent 5 852 513 mit dem Titel „Television Filter“ diskutiert das Problem, das Blenden und die Reflexion zu reduzieren und den Kontrast in Display-Schirmen zu verbessern. Insbesondere beschreibt dieses Dokument eine Zwei-Schicht-Beschichtung, welche eine weiße oder nahezu weiße reflektierte Farbe und eine niedrige Reflexion bringt.

Zusammenfassung der Erfindung

[0010] In Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, wie sie im Anspruch definiert ist, wird eine Anti-Reflexion (AR) Beschichtung zur Verfügung gestellt, welche die wellenlängen- und winkelabhängigen Brechungseigenschaften von einer oder mehreren Schichten auf einem optischen Substrat benutzt. Die Anzahl und Reihenfolge der Schichten wird bestimmt durch nicht-optische Vorgaben wie Adhäsion, Beständigkeit, Kosten, Leichtigkeit des Aufbringens und dergleichen. Eine wahrnehmbare Reflexion F , welche die Winkel- und Wellenlängen abhängige Fresnel Reflexion durch die Winkel- und Wellenlängen Empfindlichkeit des menschlichen Sehsystems aufwiegt, wird für jede Kombination der Schichtdicken berechnet. In einer Ausführungsform wird der Wert F berechnet, um einen Minimumwert zu erhalten, der der Kombination von optischem Substrat und Schichten des beschichteten Materials für jede spezielle Sehbedingung entspricht. Bei einer alternativen Ausführungsform sind die Dicken der einen oder der mehreren Materialschichten derart, dass die wahrgenommene Reflexion des beschichteten Substrats nicht vollkommen minimiert ist, jedoch ziemlich nahe daran und bevorzugt innerhalb 25% des Minimalwertes von F für die speziellen Sehbedingungen ist. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist der, dass man ein beschichtetes Substrat erhält, das den absolut niedrigsten Wert der wahrgenommenen Reflexion über einen Bereich von Wellenlängen und Winkel für eine gegebene Geometrie der Sehbedingungen erhält. Alternativ wird, wo eine absolute Minimierung nicht gefordert wird, die wahrnehmbare Reflexion auf 25% oder weniger als der Minimalwert reduziert, also immer noch weit niedriger als der Wert der wahrnehmbaren Reflexion, die sonst erhältlich wäre.

[0011] In einer Ausführungsform der Erfindung wird die Schicht oder die Schichten (auch Beschichtungen oder Filme genannt) durch plasma-verstärkte chemische Dampfablagerung gebildet (PECVD) und zwar von flüchtigen Vorläufern, z. B. von organischen oder organo-metallischen Verbindungen, ohne sich darauf beschränken zu wollen. Alternativ werden eine oder mehrere Schichten durch Kathodenzerstäubung oder Aufdampfen unter Anwendung von Techniken und Materialien gebildet, die im Stand der Technik bekannt sind. Die McLeod Druckschrift vermittelt eine gute Beschreibung solcher Techniken und Materialien. Die entstehenden Schichten können optisch dispersiv sein (d. h. sie haben eine Variation des Brechungsindex abhängig von der Wellenlänge). Alternativ kann die entstehende Schicht bzw. die entstehenden Schichten auch nicht optisch dispersiv sein. Die Schichten haben Brechungseigenschaften, die vom Precursor abhängen; den Aufbringmethoden und der Filmdicke. Sowohl einfache als auch mehrfache AR Beschichtungsschichten werden auf diese Weise hergestellt.

[0012] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die Kontrolle der wahrnehmbaren Farbe des Lichtes, das durch den beschichteten Artikel reflektiert wird. Für jede Filmdicke wird die Farbe, welche durch Reflexion einer Standardbeleuchtung wahrnehmbar ist, (z. B. Tageslicht, Fluoreszenzlicht, Glühlampen oder Lichtbogenlampen) unter Verwendung colorimetrischer Standardmethoden berechnet. Die wahrnehmbare Farbe und ihre Abwandlung mit dem Winkel werden dann als Richtlinie benutzt, während die wahrnehmbare Reflexion minimiert wird. Dieses Verfahren führt zu einem beschichteten Artikel, der eine minimale wahrnehmbare Reflexion der gewünschten Farbe aufweist. (oder einen Wert innerhalb 25% oder weniger des Minimums).

[0013] Der beschichtete Artikel kann wenigstens eine Schicht eines Anti-Reflexionsmaterials, welches einen Fluorcarbonfilm umfasst, aufweisen. Der Artikel, welcher nach der Methode entsprechend der vorliegenden Erfindung hergestellt wird, kann weiter eine Schicht von hydrophobem Material aufweisen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Diese und andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung können besser verstanden wer-

den anhand der folgenden detaillierten Beschreibung, wenn sie in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen betrachtet wird, worin:

[0015] [Fig. 1](#) eine Darstellung der menschlichen photopischen Reaktion ist und die Gesamtempfindlichkeit als auch die Reaktion für eine Anordnung von Kegelzellen mit roten, grünen und blauen Photorezeptoren nach Wyszecki und Stiles, Tabelle 3.1.1 wiedergibt. Die skotopische (Stabphotorezeptoren) Reaktionskurve hat ihr Maximum bei 49 nm bis zum Blauen (507 nm) und hat eine volle Weite beim halben Maximum von 100 nm.

[0016] [Fig. 2\(a\)](#) ist eine Darstellung der Winkelvariation von Kegel- und Stabphotorezeptoren in einem menschlichen Auge, entnommen bei Wandell, op. cit., [Fig. 3.1b](#), Seite 46. Die photopische (Kegel) Reaktion ist verantwortlich für das Sehen der Farbe und ist aktiv bei mäßigen bis hellen Beleuchtungslevels. Scotopisches Sehen wird beherrscht durch Stabphotorezeptoren und ist aktiv nur bei niedrigen Lichtlevels (Nacht-sicht). Diese Faktoren werden kombiniert mit der Geometrie der Sehsituation, um den Winkelteil von $S(\lambda, \theta)$ zu geben.

[0017] [Fig. 2\(b\)](#) ist eine schematische Wiedergabe der Geometrie beim Sehen durch Brillenlinsen. Die 8 Dioptrien Planlinse ist 12 mm von der Oberfläche der Hornhaut (Kornea) entfernt. Strahlen, welche sich von links nach rechts bewegen, treffen auf die Kornea bei 0 (blau), 10 Grad (grün) und 20 Grad (rot) und werden gezeigt, wie sie sich durch ein 3 mm große Pupille und auf die Retina bewegen. Es ist zu beachten, dass 20 Grad Strahlen normalerweise auf die Regionen der Retina treffen, bei der die Kegelempfindlichkeit niedrig ist. Das Auge rotiert darum in seinem Orbit um ± 25 Grad horizontal und vertikal, um diesen Winkelbereich mit hoher Genauigkeit auf der Fovea als Bild darzustellen. Da das Auge diese sakkadische Bewegung ausführt, hängt der Bereich der Winkel, unter welchen das Licht die Brillenlinse trifft, von ihrem Brechungsvermögen und Orientierung im Hinblick auf die Augenhöhle in einer Weise ab, die unmittelbar von der geometrischen Optik berechnet werden kann.

[0018] [Fig. 3](#) ist eine Darstellung der menschlichen Reaktionsfunktion $S(\lambda, \theta)$ für einen Beobachter, der durch eine Anordnung von Brillenlinsen schaut als Funktion des Betrachtungswinkels und der optischen Wellenlänge. Die wellenlängen-abhängige Empfindlichkeit wird durch die photopische retinale Reaktion beherrscht, während die Winkelabhängigkeit gelenkt wird durch die sakkadische Augenbewegung und die Variation der Kegel-dichte mit Winkeltrennung von der zentralen Fixierung.

[0019] [Fig. 4](#) ist eine Darstellung der Reflexion von einem Glassubstrat, das mit drei AntiReflexionsschichten versehen ist, wie auf Seite 110 von McLeod beschrieben wird: 72,4 Nanometer (nm) von PrO ($n = 1,92$), 68,4 nm von TiO ($n = 2,06$) und 100 nm von MgF ($n = 1,38$). Die wahrnehmbare Reflexion dieses Musters ist 141 oder 24,5% der für das unbeschichtete Glassubstrat.

[0020] [Fig. 5](#) ist eine Darstellung der Fresnel Reflexion einer einzelnen unbeschichteten Glasoberfläche ($n(\lambda) = 1,50$) als Funktion der Wellenlänge und des Winkels, berechnet durch Lösung der Gleichung 1. Obwohl unabhängig von der Wellenlänge nimmt der Betrag der Reflexion um 4% bei normalem Einfall bis 9% bei 60 Grad zu.

[0021] [Fig. 6\(a\)](#) ist eine Darstellung der Reflexion $R(\lambda, \theta)$ für PrO:TiO:MgF beschichtete Glasartikel mit minimaler wahrnehmbarer Reflexion unter Verwendung der Reaktionsfunktion, wie in [Fig. 3](#) gezeigt.

[0022] [Fig. 6\(b\)](#) ist ein Vergleich von $R(\lambda, \theta = 0)$ für die Artikel der [Fig. 4](#) (o) und [Fig. 6\(a\)](#) (x). Die photopische Reaktionskurve ist ebenfalls dargestellt.

[0023] [Fig. 7](#) ist eine Darstellung der Geometrie für die Betrachtung der Farbe von Licht, das von einer Brillenlinse bei einem Winkel ϕ reflektiert wird und durch einen Beobachter, nämlich das Kind, wahrgenommen wird. Die wahrgenommene Farbe wird berechnet unter Verwendung der Intensität der Quelle, welche von der Wellenlänge abhängt (Sonnenlicht gefiltert durch Fenster), die Reflexion der beschichteten Brillenlinse des Arztes ($R(\lambda, \theta)$) und die Farbreaktion des beobachtenden Kindes.

[0024] [Fig. 8](#) ist eine Darstellung von CIE Farbkurvenverläufen für die Beschichtungen, welche in [Fig. 2](#) („x“) und [Fig. 4](#) („o“) von 0 bis 60° in 5° Abständen gezeigt werden unter Annahme einer spektral flachen Breitbandbeleuchtung, wie sie von einer Xenon-Bogenlampe gebracht wird. Der weiße Punkt wird dargestellt durch eine Raute, und dominante Wellenlängen werden an der Grenze der Darstellung gezeigt. Um die dominante Wellenlänge zu berechnen, wird eine Linie von dem weißen Punkt durch die berechnete CIE Koordinate zur Grenze gezogen. Der Schnittpunkt ist die dominante Wellenlänge.

[0025] **Fig. 9(a)** ist eine Darstellung von spektralen Bestrahlungsstärken von drei typischen Lichtquellen: Tageslicht auf Meeresspiegelhöhe (o), eine Wolfram-Glühlampe (-), und eine Fluoreszenzlampe (*).

[0026] **Fig. 9(b)** ist eine Darstellung von CIE Chromatizitätskoordinaten für den beschichteten Artikel (Beispiel 1, Tabelle I für jede der drei Lichtquellen bei Winkeln von 0 bis 60° in 5° Abständen). Die darstellenden Symbole entsprechen Tageslicht in einer Höhe des Meeresspiegels (0), einer Wolfram-Glühlampe (+) und einer Fluoreszenzlampe (*).

[0027] **Fig. 11** ist eine Darstellung von CIT Bahnverlauf für Reflexion von allen der 18 AR Beschichtungen, für welche $F < 140$ bei Einfallswinkeln von 0 bis 60°. (Beschichtungsdicken werden in Tabelle I aufgeführt).

[0028] **Fig. 12** ist eine Darstellung von $S(\lambda, \theta)$ für ein Video-Displayschirm mit Licht, das reflektiert wird durch Overhead-Beleuchtung.

[0029] **Fig. 13** ist eine Darstellung der Reflexion von dem minimalen Fa Design einer 3-schichtigen PrO:TiO:MgF AR Beschichtung auf einem Glas-Video-Display-Terminal.

[0030] **Fig. 14** ist eine Darstellung von CIE chromatischen Koordinaten für das Video-Display mit minimalem Fa von 0 Grad bis 60 Grad in Abschnitten von 5 Grad.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0031] Die vorliegende Erfindung stellt Verfahren zur Verfügung, um neue einschichtige oder mehrschichtige AR Beschichtungen auf optischen Substraten herzustellen. Die benutzten Ausdrücke „optische Materialien“, „optische Substrate“, und „optische Artikel“ beziehen sich auf normal transparent oder durchscheinende Materialien wie Glas und Kunststoffe und Artikel, die aus diesen Materialien gemacht sind. Beispiele dieser Artikel schließen ein, ohne dass dies eine Beschränkung bedeuten soll, Linsen, Fenster, Fernseh- und Computermonitor-Schirme und Windschutzscheiben von Fahrzeugen wie Automobilen.

[0032] Die Reflexion R ist das Verhältnis der Intensität des reflektierten Anteils an Licht I_r zur Intensität I_i des Lichts, das auf die Probe einfällt:

$$R(\lambda, \theta, P) = \frac{I_r}{I_i} = \rho\rho^* = \frac{|y_0 - y|^2}{|y_0 + y|^2} \quad (1)$$

[0033] Die Reflexion variiert mit der Wellenlänge λ des Lichts, dem Einfallswinkel θ und der Lichtpolarisation P Es ist gleich dem Produkt des Fresnel Reflexionskoeffizienten ρ und seiner komplexen Konjugierten ρ^* , was auch ausgedrückt werden kann in Worten der optischen Admittanz für das Substratmedium Y_0 und des einfallenden Mediums Y_i . Die optische Admittanz ist

$$y = 2.6544 \times 10^{-3}(n - ik) = (C/B) \quad (2),$$

wobei n der reale Teil des Brechungsindex ist, k der absorptive (imaginäre) Teil des Brechungsindexes, und die Konstante ist ein Konversionsfaktor für SI Einheiten. Die optische Admittanz wird

$$y = (C/B),$$

wenn eine oder mehrere dünne Schichten zu einem Substrat zugefügt werden, dessen Admittanz n_m ist und wo C und B errechnet werden durch Lösung der Matrixgleichung (3)

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left(\prod_{r=1}^q \begin{bmatrix} \cos \delta_r & (i \sin \delta_r) / \eta_r \\ i \eta_r \sin \delta_r & \cos \delta_r \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0034] In Gleichung (3) ist das Argument der trigonometrischen Funktion für jede Schicht r, dessen physikalische Dicke d_x ,

$$\delta_r = 2\pi(n - ik)d_x \cos(\theta_r) / \lambda \quad (4),$$

[0035] Bei normalem Einfall ($\theta = 0$) ist die Admittanz die gleiche für alle Polarisierungen. Bei anderen Einfallswinkeln wird die einfallende Welle in zwei Polarisierungen gesplittet, nämlich p und s, und definiert die (tilted) optische Admittanz

$$\begin{aligned}\eta_p &= 2,6544 \times 10^{-3}(n - ik)/\cos(\theta) \\ \eta_s &= 2,6544 \times 10^{-3}(n - ik) \times \cos(\theta)\end{aligned}\quad (5)$$

die zur allgemeinen Reflexion R, Transmission T und Absorption A gemäß den Formeln:

$$\begin{aligned}R &= \left(\frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right) \left(\frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right) \\ T &= \frac{4\eta_0 \operatorname{Re}(\eta_m)}{(\eta_0 B + C)(\eta_0 B + C)} \\ A &= \frac{4\eta_0 \operatorname{Re}(BC \cdot -\eta_m)}{(\eta_0 B + C)(\eta_0 B + C)}\end{aligned}\quad (6)$$

führt, wo die Indices 0 und m sich auf das einfallende Medium und Substrat jeweils beziehen. Die Ableitung dieser Gleichungen wird in Kapitel 1 von H. A. McLeod beschrieben (op. cit.).

[0036] Die Sensibilität des menschlichen Sehvermögens variiert sowohl mit der optischen Wellenlänge als auch dem Einfallswinkel, wie oben diskutiert wurde, z. B. in *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formula* von Gunter Wyszecki und W. S. Stiles (New York: Wiley) (1982) und *Visual Perception* von Nicholas Wade und Michael Swanston (London: Routledge) (1991). Sie ist jedoch nicht empfänglich gegenüber Polarisation.

[0037] Die Variation der menschlichen Sehsensibilität mit der Wellenlänge $S(\lambda)$ ist graphisch dargestellt in [Fig. 1](#), welche die Sensibilität für jedes Kegelpigment zeigt (nominal rot, grün und blau) als auch die Summe der Kegelreaktionen. Diese Summe wird als phototopische Reaktion bezeichnet.

[0038] Die Variation der visuellen Reaktion mit dem Winkel hängt ab von der Geometrie der Sehsituation und von den physiologischen und optischen Zwängen, welche dem menschlichen Auge aufgedrückt werden. Wenn man durch Brillenlinsen schaut, kann man eine Winkelfunktion $S(\theta)$ konstruieren, welche der Verteilung der Kegelpigmente als auch der normalen saccadischen Augenbewegung Rechnung trägt. [Fig. 2\(a\)](#) zeigt eine Darstellung der realen Dichte der Kegel und Stäbchen für das menschliche Auge. Die Kegel sind stark konzentriert in einem festen Winkel von weniger als 5 Grad. Während normaler Sicht bewegt sich die Augenkugel in ihrer Fassung um Winkel bis zu 25 Grad vom zentralen Fixpunkt bei saccadischen Bewegungen. Wenn unter extremen Winkeln gesehen wird, ist die natürliche physiologische Reaktion eine Kopfbewegung zu initiieren. Saccadische Bewegungen erlauben der Gegend der maximalen Photorezeptor-Sensibilität, der Fovea, welche einen kleinen festen Winkel umfasst, ein weiteres Gebiet an Winkeln zu umfassen, ohne dass der Kopf dabei bewegt wird.

[0039] Die foveale Reaktion und die saccadische Bewegung werden dann kombiniert mit der geometrischen Optik einer Brillenlinse, um $S(\lambda, \theta)$ zu produzieren. Wie man in [Fig. 2B](#) sehen kann, sind entsprechende Stellen von jedem optischen Strahl, der in die Pupillen eintritt, und Winkel sowohl an der Retina und den Oberflächen der ophthalmischen Linsen vorhanden. Die Winkel, unter welchen das Licht die beschichteten Gegenstände streift und anschließend auf der Fovea über den Bereich der saccadischen Augenkugelbewegungen bildlich dargestellt ist, werden direkt zu der Winkelvariation von $S(\lambda, \theta)$ konvertiert.

[0040] Die visuelle Reaktionsfunktion $S(\lambda, \theta)$, welche in [Fig. 3](#) gezeigt wird, kombiniert die menschlichen Reaktionsfunktionen für Wellenlänge und geeignete Winkel für das Sehen durch eine Brillenlinse. Die besondere Form von $S(\lambda, \theta)$ kann in einer Weise variieren, die konsistent mit den Sehbedingungen ist. Zum Beispiel sind die Stabphotorezeptoren an erster Stelle aktiv bei schwachen Lichtbedingungen, was zu einer Winkelsensibilität führt, die sich dramatisch von phototopischem Sehen unterscheidet, wie es von der Stabphotorezeptordichte, welche in [Fig. 2](#) gezeigt wird, hergeleitet werden kann. Die chromatische (wellen-abhängige) Reaktion der Stäbe ist auch unterschiedlich und weist ein Maximum bei 507 nm auf und eine volle Weite bei einem Halb-

maximum von 100 nm, wie es ausführlicher von Wyszecki, Seite 258 **Fig. 4.3.2.** beschrieben wird. Ein anderes Beispiel für die Verwendung eines unterschiedlichen $S(\lambda, \theta)$ wird erhalten für Menschen mit einer teilweisen Farbblindheit oder einem Netzhautschaden, wie er durch maculare Degeneration verursacht wird.

[0041] Die Winkelkomponente von $S(\lambda, \theta)$ variiert auch mit der Geometrie der optischen Sehumstände. Wenn man Reflexionen von einem Monitorschirm oder einer Brillenlinse, welche von einer anderen Person getragen wird, sieht, hängt die Winkelvariation von S von der geometrischen Beziehung zwischen dem Beobachter, dem beschichteten Artikel und der Stellung der Beleuchtungsquelle ab, und zwar eher als von den saccadischen Augenbewegungen des Beobachters. In ähnlicher Weise wird die Winkelabhängigkeit der Reflexion von einer Automobilwindschutzscheibe von ihrem Abstand von des Fahrers Kopf und ihrem Winkel in dem Rahmen des Automobils abhängen. Obwohl die Beschichtungsmaterialien, die Anzahl der Schichten und die Reihenfolge der Schichten die gleiche sein kann bei zwei Anwendungen, beispielsweise einer Windschutzscheibe und einer Brillenlinse, können die Schichtdichten, welche für minimale F_a entsprechend der Erfindung errechnet werden, für jede Anwendung unterschiedlich sein.

[0042] Ein Beispiel für die Lösung der Fresnel Gleichungen, welche Wellenlängen zwischen 390 und 710 nm und Winkel bis zu 60 Grad für ein Glassubstrat benutzen, das mit 72 nm PrO_2 68 TiO_x und 100 nm MgF beschichtet ist, wird in **Fig. 4** gezeigt. Diese Anordnung der Schichten und der Dicken wird in McLeod, op. cit. Seite 110 als eine Antireflexions (AR) Beschichtung beschrieben. Die Kurve in **Fig. 4** zeigt den Mittelwert von s- und p-polarisierter Reflexion, welche für das menschliche Sehen geeignet ist, da das menschliche Sehen keine optische Polarisation wahrnimmt. Wechsel an dem Substrat, der Brechungseigenschaften der Schichten oder die Reihenfolge, in welcher sie auf das Substrat beschichtet werden, führt zu komplexen, aber berechenbaren Veränderungen bei der Reflexion $R(\lambda, \theta, P)$.

[0043] Entsprechend der vorliegenden Erfindung basiert die Gestaltung einer AR Beschichtung auf der wahrgenommenen Reflexion. Die wahrgenommene Reflexion F von Licht von einer Oberfläche durch einen menschlichen Beobachter wird definiert als das Integral des Produkts der Reflexion $R(\lambda, \theta)$ mit der menschlichen Empfindlichkeitsfunktion $S(\lambda, \theta)$:

$$F = \iint S(\lambda, \theta) R(\lambda, \theta) d\lambda d\theta \quad (7)$$

[0044] $R(\lambda, \theta)$ ist das Mittel der p- und s-polarisierten Reflexion und wird hier genutzt, weil das menschliche Sehsystem nicht empfänglich ist gegenüber der Polarisation (in manchen Fällen ist es angebracht, sich auf die wahrgenommene Reflexion eines unbeschichteten Artikels zu beziehen als „ $F_{\text{unbeschichtet}}$ “ oder „ F_0 “ und die wahrgenommene Reflexion eines AR beschichteten Substrats als „ F_{AR} “. (Die letztere wird manchmal auch als „ F “ bezeichnet). Der Wert von F hängt ab von den wellen-abhängigen Brechungsindices des Substrats und der Schichtmedien, von der Dicke der Schichten und auch von der Winkel- und Wellenlänge, die ihrerseits von der visuellen Reaktion abhängen, wie oben beschrieben.

[0045] Im idealen Fall und wie in der US-A-5,991,081 beschrieben, wird Gleichung 7 für den absoluten Minimalwert von F (bezeichnet F_{Min}) gelöst für eine gegebene Menge an Beschichtungen oder Lagen auf einem Substrat, für eine gegebene Geometrie von Sehbedingungen. Das Ergebnis ist einzigartig für die besondere Kombination und Zusammensetzung von AR Lagen oder Beschichtungen, deren physikalische Dicke einen Wert hat, dass $F = F_{\text{Min}}$. In einer alternativen Ausführungsform wird die Gleichung 7 für einen Bereich von Werten gelöst, der nah an, aber nicht unbedingt gleich F_{Min} ist. D. h. gute Resultate werden erhalten, wenn der Wert F klein ist, aber nicht unbedingt ein absolutes Minimum erreicht hat. In einer solchen Ausführungsform ist der Wert von F für das beschichtete Substrat innerhalb 25% von F_{Min} , d. h. $F \leq 1,25F_{\text{Min}}$. Für manche Anwendungen, wo extrem niedrige Beträge von wahrgenommener Reflexion erwünscht sind, wird die Gleichung 7 gelöst für Werte von F innerhalb 20%, 15% oder sogar 10% von F_{Min} , d. h. $F \leq 1,20F_{\text{Min}}$, $F \leq 1,15F_{\text{Min}}$ oder $F \leq 1,10F_{\text{Min}}$. In jedem Fall setzt die Lösung von F einen in die Lage, die Kombination von physikalischen Dicken der Schichten der Antireflexionsbeschichtungen zu identifizieren, die dem gewünschten Bereich oder Wert von F entsprechen.

[0046] Die folgenden Beispiele, welche nicht als Beschränkung aufzufassen sind, erläutern die Erfindung. Ausgehend mit den McLeod Drei-Schichten AR Beschichtungen (**Fig. 4**), welche auf eine Brillenlinse aufgebracht wurden, benutzt man die Reaktionsfunktion, die in **Fig. 3** gezeigt wird, und berechnet einen Grundlinienwert der wahrgenommenen Reflexion $F = 141$. Der Wert der wahrgenommenen Reflexion von einer unbeschichteten Glaslinse (**Fig. 5**) hat einen Wert von 575 für das gleiche $S(\lambda, \theta)$ und das McLeod Muster reduziert die wahrgenommene Reflexion auf 25% des Wertes für eine unbeschichtete Linse.

Beispiel 1

[0047] Entsprechend der vorliegenden Erfindung wird die wahrgenommene Reflexion F für alle Kombinationen von Schichtdicken berechnet, und der Aufbau von Dicken, für welche F minimiert ist, wird ausgewählt beginnend mit dem Glas: PrO:TiO:MgF System, wie oben beschrieben. Diese Berechnung wurde durchgeführt und die minimale wahrgenommene F_{Min} wurde berechnet mit dem Wert 104, der 18% des Wertes des unbeschichteten Artikels ist und eine 35%-ige Reduktion von der Beschichtung gemäß dem Lehrbuch aufweist. Dieser absolute Minimalwert der wahrgenommenen Reflexion (gezeigt in **Fig. 6**) für diese Materialien entspricht den folgenden physikalischen Dicken: 100 nm von PrO, 25 nm von TiO und 87 nm von MgF.

Beispiele 2–19

[0048] Unter Benutzung der Lehre der vorliegenden Erfindung und durch Lösen der Gleichung 7 durch Wechseln der Größe der physikalischen Dichten der drei Schichten in 10 nm Schritten erhielt man über 16000 Kombinationen. Von diesen hatten, wie gefunden, 18 wahrgenommene Reflexionen, die niedriger lagen als die Beschichtung gemäß Lehrbuch, zusätzlich zum Fall, wo $F = F_{\text{Min}}$ (Beispiel 1). Zwölf Beispiele (plus Beispiel 1) entsprechen dem gewünschten Parameter, dass $F \leq 1,25F_{\text{Min}}$ ist. Die Ergebnisse werden in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 1:

Wahrgenommene Reflexion für beschichtete und unbeschichtete Brillenlinsen

Beschichtung	Dicke (nm)			F	% Verbesserung gegenüber unbeschichtet	% innerhalb F_{Min}^2
	PrO	TiO	MgF			
Unbeschicht.	0	0	0	575	0 %	453 %
Lehrbuch	73	68	100	140	311 %	35 %
Beisp.1 (F_{Min})	100	25	87	104	453 %	0 %
Beisp. 2	70	50	90	111	418 %	7 %
Beisp. 3	90	30	90	111	418 %	7 %
Beisp. 4	110	10	90	114	404 %	10 %
Beisp. 5	120	0	80	116	396 %	12 %
Beisp. 6	50	70	90	116	396 %	12 %
Beisp. 7	10	10	130	119	383 %	14 %
Beisp. 8	100	20	80	120	379 %	15 %
Beisp. 9	80	40	80	120	379 %	15 %
Beisp. 10	60	60	80	122	371 %	17 %
Beisp. 11	25	100	80	123	367 %	18 %
Beisp. 12	30	90	90	126	356 %	21 %
Beisp. 13	40	80	80	127	353 %	22 %
Beisp. 14	50	90	90	135	326 %	30 %
Beisp. 15	20	0	140	135	326 %	30 %
Beisp. 16	10	110	90	135	326 %	30 %
Beisp. 17	70	70	90	136	323 %	31 %
Beisp. 18	20	100	80	137	320 %	32 %
Beisp. 19	0	20	140	137	320 %	32 %

$$^1 \text{ \% Verbesserung gegenüber unbeschichtet} = (F_{\text{unbeschichtet}}/F - 1) 100$$

$$^2 \text{ \% innerhalb } F_{\text{Min}} = (F/F_{\text{Min}} - 1) 100$$

[0049] Die Dicke Kombinationen, welche in Tabelle I wieder gegeben sind, schließen nicht andere Kombinationen aus, für welche der Wert F innerhalb 25% liegt (oder andere wenn gewünscht niedrigere Prozentsätze) des Minimumwerts von 104. Jedoch fand man, dass von den 16000 Veränderungen, die studiert wurden, nur

die Beispiele 1–13 diesem Kriterium entsprechen.

[0050] Der Durchschnittsfachmann wird erkennen, dass Gleichung 7 gelöst werden kann (für F , F_{Min} , $1,25F_{\text{Min}}$ oder irgendeinen anderen gewünschten Wert oder Bereich von F), indem man lineare Algebra oder Infinitesimalberechnungen anwendet.

[0051] Als Alternative zur manuellen Berechnung kann lineare Algebra Software benutzt werden, ohne eine Beschränkung hiermit anzugeben schließt solche Software ein Mathematica (Wolfram Research, Champaign-Urbana, IL), Matlab (The MathWorks, Inc., Natick, MA), Macsyma (Macsyma Inc., Arlington, MA) und Maple (Waterloo Maple, Inc., Waterloo, Ontario, Canada). Computeranalyse ist ebenfalls möglich unter Verwendung geeigneter Software, z. B. Excel (Microsoft, Redmond, WA) und Lotus 1-2-3 (Lotus Development Corp., Cambridge MA).

[0052] Es wird deutlich aus Tabelle 1, dass diskrete Werte der Dicken für jede Materialschicht ausgewählt wurden bei der Berechnung von F (nämlich 10 nm Intervalle). Man kann natürlich ein unterschiedliches Intervall auswählen z. B. 5 nm, 2 nm usw. Im Allgemeinen ist der Effekt bei kleinen Abweichungen im Wert einer gegebenen physikalischen Dicke der Schicht auf den berechneten Wert von F auch klein, und F wird oft innerhalb 25% von F_{Min} liegen. Zum Beispiel ist der Wert von F , der den Dicken der Schicht für PrO:TiO:MgF von 40, 80 und 80 nm bzw. entspricht, 127 (Beispiel 13, Tabelle 1). Der Wert von F , der den Dicken 42, 80 und 80 nm entspricht, ist 121, wie es der Wert für 40, 82 und 80 nm Systeme ist. Wenn die Dicken 40, 80 und 82 nm sind, wird F 122. In jedem Fall ist der Wert F innerhalb 25% von F_{Min} . Jedoch steigt der Wert von F , wenn die Dicken auf 40, 80 und 78 nm eingestellt werden, auf 136, was 31% höher ist als F_{Min} .

[0053] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft die Einschränkungen bei der Wahrnehmung der Farbe des vom beschichteten Artikel reflektierten Lichts. Als ein Beispiel dieser Ausführungsform betrachten wir die AR Beschichtungen, welche in Tabelle 1 zusammengefasst sind und zwar vom Gesichtspunkt eines Beobachters, der auf eine Person schaut, welche die Brillenlinsen trägt. Licht von Overheadlampen, Fenstern oder anderen Beleuchtungsquellen streifen die Oberfläche der Linse und werden in das Auge eines Beobachters bei einem Winkel (ϕ) reflektiert, wie schematisch in [Fig. 7](#) gezeigt wird. Die Farbe dieser Reflexion hängt von der wellenlängen-abhängigen Intensität der Lichtquelle ab (Sonnenlicht gefiltert durch das Fenster), der wellenlängen- und dem winkel-abhängigen Reflexion des beschichteten Artikels (die beschichteten Brillenlinsen), und der Physiologie der Farbvision, wie z. B. in Wandell, Foundations of Vision, Sinauer Associates: Sunderland MA, 1995 oder Wyszecki und Stiles op. cit., beschrieben wird.

[0054] Die wahrgenommene Farbe eines Objekts ist quantitativ definiert durch Koordinaten im Farbraum wie die CIE 1931 oder 1964 kolorimetrischen Koordinaten oder der uniforme 1976 CIE (L^* , u^* , v^*) Farbraum, beschrieben in Wyszecki und Stiles in Kapitel 3. [Fig. 8](#) zeigt die Farbkoordinaten (bezeichnet = „x“) in der CIE 1931 Darstellung für das McLeod Lehrbuch AR PrO:TiO:MgF Beschichtung als eine Funktion des Winkels für die Beleuchtung mit einer Xenon Bogenlampe. Auch werden in [Fig. 8](#) die Farbkoordinaten gezeigt (bezeichnet „o“) für die (F_{Min}) minimale Beschichtung, hergestellt in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Die Stelle, welche mit einer Raute gekennzeichnet ist, entspricht weiß, d. h. keine wahrgenommene Farbe. Die beherrschende Wellenlänge, welche definiert ist als die Wellenlänge, bei welcher monochromatische Reize die gleiche wahrgenommene Farbe hervorrufen, wird gefunden, indem man eine Gerade von dem Weißpunkt (Raute) bis zur Peripherie der Kurve durch die den berechneten CIE Farbpunkt zieht. So haben z. B. beide Lehrbuchbeschichtungen bei einem Betrachtungswinkel von 50 Grad und der minimalen F_{Min} Beschichtung bei 0 Grad eine beherrschende Wellenlänge von etwa 480 nm, d. h. blau-grün. Nicht alle Punkte in der CIE Farbraumdarstellung haben eine beherrschende Wellenlänge, jedoch bringt die beherrschende Wellenlänge ein qualitatives Label, mit dem man die verschiedenen Farbtöne vergleichen kann.

[0055] Die wahrgenommene Farbe des Lichts, das von der Oberfläche eines AR beschichteten Artikels reflektiert wird, variiert sowohl mit dem Einfallswinkel als auch mit der Beleuchtungsquelle. [Fig. 9\(a\)](#) zeigt die Spektren von drei Standard Beleuchtungsquellen: Tageslicht auf Meeresniveau, eine Wolframlampe und eine fluoreszierende Lampe. Die Farbkoordinaten für die Reflexion dieser Lichter von einem beschichteten Artikel entsprechend Beispiel 1 (Tabelle 1, $F = F_{\text{Min}}$) entsprechend der vorliegenden Erfindung werden in [Fig. 9\(b\)](#) für Winkel von 0 bis 60 Grad in Intervallen von 5 Graden gezeigt. Die wahrgenommene Farbe wie sie von den CIE Chromaticity Koordinaten quantifiziert wird, ist eine Funktion sowohl des Winkels als auch der Beleuchtungsquelle.

[0056] Sowohl die tatsächliche Stelle als auch die Variation von CIE Farbstellen mit dem Winkel sind von praktischem Interesse für das Entwerfen von AR beschichteten Artikeln. Es ist für diejenigen die praktische Erfah-

zung auf dem Gebiet der Optometrie haben, bekannt, dass gewisse Farben und Farbtöne kosmetisch anderen gegenüber bevorzugt werden. Weiter ist die Variation von Farbtönen mit dem Blickpunkt ein Faktor bei der kosmetischen Akzeptanz von Brillenlinsenprodukten. Es ist auch klar aus [Fig. 1](#), dass die absolute visuelle Sensibilität für das reflektierte Bild stärker ist für manche Wellenlängen, sagen wir 550 nm (grün) als für blau (450 nm) oder tief rot (750 nm). Einer der Vorteile der vorliegenden Erfindung ist folgender, dass sie die Minimierung der wahrgenommenen Reflexion für einen Brillenlinsenträger erlaubt (z. B. der Arzt in [Fig. 7](#)), während zur gleichen Zeit die Farbe der wahrgenommenen Reflexionen durch einen äußeren Beobachter kontrolliert werden kann (das Kind in [Fig. 7](#)).

[0057] [Fig. 10](#) zeigt die wahrgenommene Farbe für Sonnenlicht, das reflektiert wird entsprechend der jeweiligen Beispiele 2–19, die in Tabelle 1 bei normalem Einfall zusammengefasst sind. Da der Winkel zwischen der Beleuchtung, der Linse und dem Beobachter vergrößert wird, ist eine Verschiebung in der wahrgenommenen Farbe gegeben, wie in [Fig. 11](#) gezeigt wird, wo die Kurvenverläufe der Chromatizitätskoordinaten aufgetragen sind, und zwar in fünf Grad Intervallen von 0 bis 20 Grad. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden diese berechneten Farben benutzt in Zusammenhang mit kosmetischen oder anderen Farbkriterien, um einen Artikel zu produzieren, der eine minimale wahrgenommene Reflexion aufweist, während eine vorbestimmte Farbe aufrechterhalten wird. So kann man zum Beispiel, wenn jemand das Auftreten der Reflexion minimieren möchte, die Farbtönung so einstellen, dass sie der Hautfarbe des Trägers entspricht. Alternativ kann man die Farbe innerhalb eines Bereichs von Farbtönen halten, die minimal wahrnehmbar sind, basierend auf ihrer Nähe zum Weißpunkt oder der photopischen Sensibilität gegenüber blau oder roten Farbtönen, wie in [Fig. 1](#) gezeigt. In einer dritten Ausführungsform der Farbkontrolle kann man die AR-Beschichtung so auswählen, dass sie den kleinsten Wechsel in der Farbtönung hat, wie es erreicht wird durch einen vorbestimmten Winkelbereich unter einer vorbestimmten Lichtquelle. Dieser Bereich kann quantifiziert werden durch Berechnung der Länge der Kurven, die in [Fig. 11](#) gezeigt werden, nachdem die Koordinaten transformiert werden von 1931 CIE color space zu der 1976 CIE einheitlichen (L^* , U^* , V^*) color space.

[0058] Entsprechend einem Aspekt der Erfindung werden die empirisch bestimmten Mittelwerte von $S(\lambda, \theta)$ (siehe Wyszecski, Kapitel 5) benutzt, um den bevorzugten Reaktionsfaktor zu bestimmen, der bei dem Gestalten einer AR-Beschichtung benutzt wird. Jedoch wird auch die Konstruktion von individuellen Profilen für Individuen umfasst, die besondere Einschränkungen bei $S(\theta)$ haben, wie es zum Beispiel bei Individuen vorkommen kann, die auf einem Auge blind sind oder die unter einer macularen Degeneration leiden.

[0059] Die wahrgenommene Reflexion F wird zahlenmäßig erfasst für eine oder mehrere Schichten auf einem optischen Substrat als Funktion der Dicke, Zusammensetzung und Reihenfolge, in welcher sie auf das Substrat als Beschichtung abgelegt wurden. Die Zusammensetzung und Reihenfolge kann durch andere Materialgegebenheiten eingeschränkt werden, wie zum Beispiel Adhäsion, Oberflächenenergie, chemische Widerstandsfähigkeit und so weiter. Entsprechend der vorliegenden Erfindung bringt die bevorzugte Dicke der Schichten oder der Schicht in einer AR-Beschichtung den Wert F innerhalb 25% seines absoluten Minimums, was mit diesen Einschränkungen zusammenhängt.

[0060] Entsprechend der vorliegenden Erfindung kann die Dicke der Schichten auch eingeschränkt sein durch die wahrgenommene Farbe bei Licht, das von dem Artikel reflektiert wird und in die Augen eines Beobachters gelangt. Diese zusätzliche optische Beschränkung ergibt einen AR beschichteten Artikel, der sofort minimal reflektierend ist, während er ein wünschenswertes kosmetisches Aussehen aufweist.

Beispiele 20–30

[0061] Ein zweiter AR beschichteter Artikel, hergestellt nach einem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung, ist ein Computermonitor oder Fernsehschirm, der eine Glasoberfläche hat. Antireflexionsbeschichtungen für diese Artikel sind wünschenswert, weil Overhead oder Fensterbeleuchtung reflektierte Bilder erzeugen, die das Erkennen der Bilder verschlechtern, welche auf den Displayschirm projiziert werden. Die photopische Antwort in $S(\lambda)$ für den menschlichen Beobachter ist in [Fig. 1](#) gezeigt. Jedoch ist die Winkelkomponente von $S(\lambda, \theta)$ wesentlich anders als für die Brillenlinse. Unter der Annahme, dass eine Overheadbeleuchtung in einem typischen Arbeitsplatzumfeld gegeben ist und eine einfache Geometrie benutzt wird, wird ein Beispiel $S(\lambda, \theta)$ in [Fig. 12](#) gezeigt. Die wahrgenommene Reflexion des unbeschichteten Schirms ist 717, während die Reflexion, welche für die Lehrbuchbeschichtung PrO:TiO:MgF 258 ist oder 36% der Reflexion für das unbeschichtete Display. Unter Verwendung des Verfahrens, wie oben beschrieben, sind die Schichtdicken, welche F auf 191, ihren Minimalwert reduzieren (26,6% von dem unbeschichteten Display) gefunden zu 60 nm PrO, 80 nm TiO und 120 nm MgF. Eine Kurve, die F_{\min} für diese Ausführungsform zeigt, ist in [Fig. 13](#) dargestellt.

[0062] Es wird zur Kenntnis genommen, dass diese Kombination der Schichtdicken für diese drei Materialien nicht ideal für Brillenlinsen ist. Die Benutzung der menschlichen Reaktionsfunktion für die Brillenlinse ([Fig. 3](#)) führt zu einem Wert von $F = 252$, der wesentlich größer ist als bei der Lehrbuchbeschichtung.

[0063] Die Chromatizitätskoordinaten für dieses AR beschichtete Display am Terminal werden in [Fig. 14](#) gezeigt. Wie zuvor werden eine Reihe von Berechnungen unternommen und ergeben Werte innerhalb des gewünschten Bereichs der Minimumwerte von F , d. h. 25%, während die Farbtonung des reflektierten Lichts getrennt berechnet wird für relevante Winkel unter Benutzung der Kolorimetrieformeln. Nach Evaluierung der Chromatizitätskoordinaten von jedem Muster in Tabelle II kann die Kombination von Farbtönen und minimal wahrgenommener Reflexion ausgewählt werden basierend auf kosmetischen oder visuellen Funktionserfordernissen. Zum Beispiel ist es wünschenswert, wenn der Videodisplayhintergrund eine vorgewählte Farbe hat, den reflektierten Farbton mit dieser Hintergrundfarbe zu mischen, um die visuellen Einflüsse der Reflexionen weiter zu reduzieren. Für den Durchschnittsfachmann auf dem Gebiet der Sehtechnik ist es klar, dass die Auswahl besonderer Farbtöne für Artikel mit $F < 1,25F_{\min}$ mit der Beleuchtung, der geometrischen Optik des Displays und des Farbhintergrunds des Umfelds, in welchem der AR beschichtete Artikel benutzt werden soll, variieren wird. Tabelle II stellt einen Teilausschnitt von Lösungen zur Gleichung 2 für diese AR beschichteten Displayterminals dar, wo Berechnungen ausgeführt wurden durch Variieren der Größe der physikalischen Dicke der Schichten in 10 nm Schritten, die über 16000 Kombinationen ergeben. Von diesen hatten 165 Werte von einer wahrgenommenen Reflexion innerhalb 30% von F_{\min} und ungefähr 125 hatten Werte von wahrgenommener Reflexion innerhalb 25% von F_{\min} . Die Ergebnisse für die unbeschichteten Linsen, die Lehrbuch (McLeod) Beschichtungen, Beispiel 20 (F_{\min}) und Beispiele 21–30 werden weiter unten dargestellt.

Tabelle II

Wahrgenommene Reflexion für beschichtete und unbeschichtete Videodisplayschirme

Beschichtung	Dicke (nm)			F	% Verbesserung gegen über unbeschichtet	% innerhalb F_{\min}^2
	PrO	TiO	MgF			
Unbeschichtet	0	0	0	717	0 %	273 %
Lehrbuch	73	68	100	258	178 %	34 %
Beisp. 20 (F_{\min})	60	80	120	192	273 %	0 %
Beisp. 21	70	70	120	193	272 %	1 %
Beisp. 22	50	90	120	193	272 %	1 %
Beisp. 23	50	90	130	201	257 %	5 %
Beisp. 24	100	30	120	201	257 %	5 %
Beisp. 25	90	40	120	201	257 %	5 %
Beisp. 26	60	80	130	211	240 %	10 %
Beisp. 27	130	10	130	220	226 %	15 %
Beisp. 28	60	100	140	230	212 %	20 %
Beisp. 29	20	140	130	240	199 %	25 %
Beisp. 30	100	50	120	240	199 %	25 %

$$^1 \text{ \% Verbesserung gegenüber unbeschichtet} = (F_{\text{unbeschichtet}}/F - 1) 100$$

$$^2 \text{ \% innerhalb } F_{\min} = (F/F_{\min} - 1) 100$$

[0064] Für den Durchschnittsfachmann auf dem Gebiet der Kolorimetrie ist es klar, dass die wahrgenommene Farbe quantitativ von der Spektralverteilung des Beleuchtungsmittels abhängt, wie in [Fig. 9\(A\)](#) und (B) gezeigt wird. Glühlampen, Fluoreszenz und Bogenlampen haben eine andere Spektralausstrahlung als Sonnenlicht. Weiter variiert der spektrale Inhalt von Sonnenlicht mit der Tageszeit und mit den Wetterbedingungen. Die vorliegende Erfindung kann die Spektralmerkmale des Beleuchtungskörpers in die Berechnung der wahrgenommenen Reflexion oder der wahrgenommenen Farbe einbeziehen, indem die Intensität der Quelle, welche von der Wellenlänge abhängt in die Berechnung von $S(\lambda, \theta)$ eingeschlossen wird. Ein Fachmann weiß, dass die Details, welche Form oder welche Gewichtsmittel der Formen benutzt werden sollen, natürlich in Betracht zu ziehen sind für die Sehbedingungen, unter welchen der Artikel gebraucht werden soll.

[0065] Die Erfindung stellt Methoden zur Herstellung einzigartiger Artikel zur Verfügung, die durch eine niedrigere Reflexion charakterisiert sind. Im Allgemeinen sind die Artikel transparent, z. B. ophthalmische Linsen, Fenster, Windschutzscheiben, Fernseh- und Computerschirme usw. Transparente Artikel haben keine Lichtabsorption in dem Gebiet des Spektrums, das vom menschlichen Sehsystem empfunden wird, d. h. zwischen etwa 350 und 750 nm. Bei einigen Verfahren können die hergestellten Artikel transluzent sein. Transluzente Artikel lassen Licht bei einigen Wellenlängen des sichtbaren Lichts durch, aber absorbieren einiges oder alles vom Licht bei einer oder mehreren Wellenlängen des sichtbaren Lichts. Beispiele für transluzente Artikel, die nicht eine Beschränkung sein sollen, schließen ein leicht gefärbte oder getönte Sonnengläser, gefärbte Glasfenster und gefärbte Windschutzscheiben.

[0066] Bei einer Ausführungsform wird gemäß dem Verfahren ein transparenter niedrig-reflektierender Artikel erhalten, der ein optisches Substrat und ein oder mehrere Schichten von AR Material umfasst.

[0067] Es ist einfach einzusehen, dass das Herstellen von niedrig-reflektierenden Artikeln, die mehr als zwei Schichten von Material, das auf eine darunter liegendes optisches Substrat abgesetzt worden ist, haben auch innerhalb des Bereichs der vorliegenden Erfindung ist.

[0068] Die Erfindung ist beschrieben worden in bevorzugten und beispielhaften Ausführungsformen, ist aber nicht darauf beschränkt. Eine Anzahl von Abänderungen, Ausführungsarten und Ausführungsformen, die innerhalb des üblichen Könnens und der Geschicklichkeit von den Fachleuten liegt, können gemacht werden, ohne von der vorliegenden Erfindung abzuweichen, die in den Ansprüchen beansprucht wird. Zum Beispiel können Verfahren zum Entwerfen und Anwenden von AR Beschichtungen benutzt werden in Beziehung zu einer Vielzahl von optischen Substraten in Ergänzung zu ophthalmischen Linsen.

[0069] Sogar große Artikel wie Automobil-Windschutzscheiben können eine AR Beschichtung bekommen, wenn ein genügend großer Reaktor gebaut wird.

[0070] Sowohl im Text als auch in den Ansprüchen wird das Wort „etwa“ in Beziehung zu einem Bereich von Zahlen benutzt in der Absicht, um sowohl die oberen als auch die unteren Werte zu modifizieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines transparenten oder transluzenten beschichteten Gegenstandes, bei welchem man ein optisches Substrat mit einer oder mehreren Schichten eines Antireflexionsmaterials beschichtet, aufweisend dass man:

das Abscheiden einer oder mehrere Schichten des Antireflexionsmaterials auf dem Substrat initiiert; und gekennzeichnet dadurch, dass man:

das Abscheiden terminiert, wenn die eine oder mehrere Schichten eine so gewählte Dicke erreichen, dass der Gegenstand zugleich (i) eine Farbe hat, wenn man ihn unter einem bestimmten Winkel oder Winkeln betrachtet, bei einer bestimmten Beleuchtung, die wahrnehmbar innerhalb eines bestimmten Volumenelements des Farbraumes liegt, wie er durch den CIE Farbwertanteil der Farbe definiert wird, und (ii) ein wahrnehmbares Reflektionsvermögen $F = \iint S(\lambda, \theta)R(\lambda, \theta)d\lambda d\theta$ das kleiner oder gleich $1,25F_{\min}$ ist, wobei λ die Wellenlänge ist, θ der Einfallswinkel, $S(\lambda, \theta)$ die menschliche Empfindlichkeitsfunktion ist als eine Funktion der Wellenlänge und des Einfallswinkels, $R(\lambda, \theta)$ ein Mittel aus p- und s-polarisierten Reflexionen darstellt und F_{\min} das wahrnehmbare Rückstrahlvermögen darstellt minimiert innerhalb der durch die Farbwertkoordinaten auferlegten Beschränkungen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die eine oder mehrere Schichten mittels plasmaverstärkter chemischer Abscheidung aus der Gasphase abgeschieden werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Substrat eine ophthalmische Linse ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die ophthalmische Linse auf wenigstens einem Abschnitt von einer oder beiden Linsenoberflächen und/oder ihrer Kanten mit dem Antireflexionsmaterial beschichtet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Substrat ein Fenster ist, ein Fernsehbildschirm oder ein Computermonitor.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Schicht des Antireflexionsmaterials einen Fluorkohlenstofffilm umfasst.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Fluorkohlenstofffilm ein Plasmaabscheidungsprodukt einer perfluorierten organischen Verbindung ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die perfluorierte organische Verbindung eine aliphatische oder zykloliphatische Perfluorverbindung ist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die perfluorierte organische Verbindung ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Perfluorzyklobutan, Hexafluorethan, Tetrafluorethylen, Perfluorpropen und Mischungen davon.
10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Fluorkohlenstofffilm Polytetrafluorethylen umfasst.
11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Schicht aus Antireflexionsmaterial einen organischen Film oder Organosiliziumfilm umfasst.
12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Schicht des Antireflexionsmaterials ein Produkt eines plasmaverstärkten chemischen Abscheidungsverfahrens aus der Gasphase umfasst von einem oder mehreren Vorläufern ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$, $\text{HSi}(\text{CH}_3)_3$, Thiophen, Furan, Benzol, $\text{Ti}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$, $\text{Ti}(\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2)_4$ und perfluorierten organischen Verbindungen.
13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede Schicht aus Antireflexionsmaterial eine physikalische Dicke von größer als etwa $5 \mu\text{m}$ und weniger als etwa 1 Mikron hat.
14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Gegenstand weiterhin eine dünne optische Metallschicht aufweist, die auf dem optischen Substrat und/oder auf einer Schicht aus Antireflexionsmaterial aufgebracht ist.
15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Gegenstand weiterhin eine Schicht aus hydrophobem Material aufweist.
16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtung ausgewählt ist aus normalem oder spektral gefiltertem Tageslicht, Wolframlampen, Fluoreszenzlampen und Bogenlampen.
17. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Volumenelement durch eine Kreis vom Radius 0,1 definiert wird zentriert bei $(1/3, 1/3)$ im 1931 CIE Farbraum.
18. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Volumenelement so ausgewählt ist, dass es der Hintergrundfarbe entspricht und dadurch die Sichtbarkeit von reflektiertem Licht verringert.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

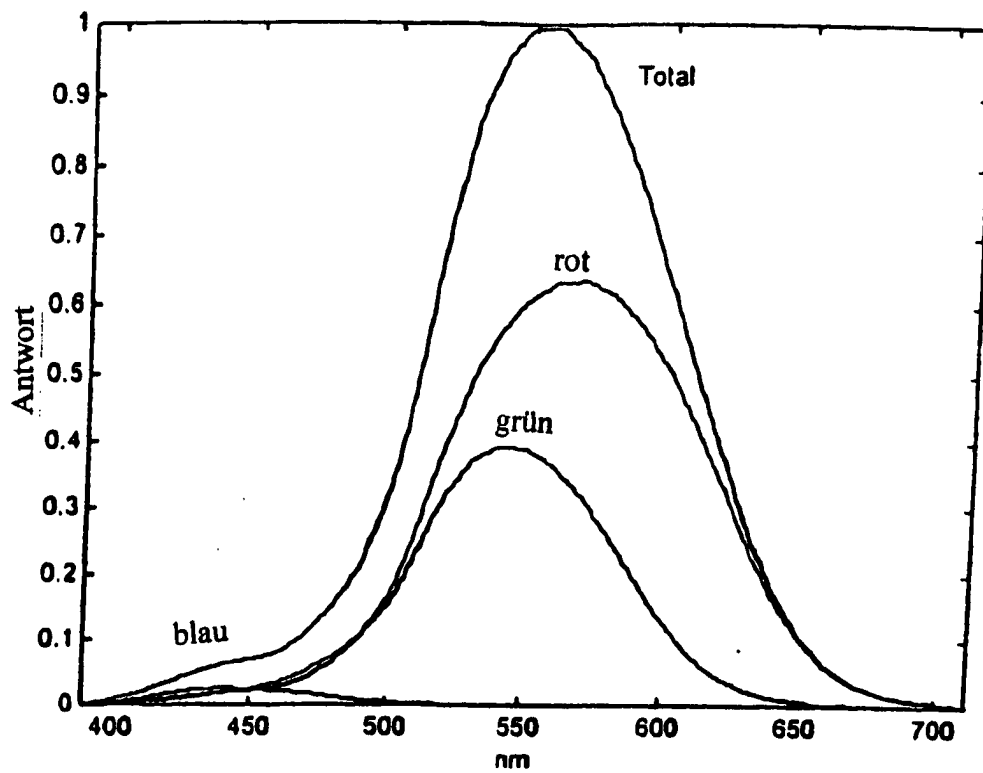


FIG. 1

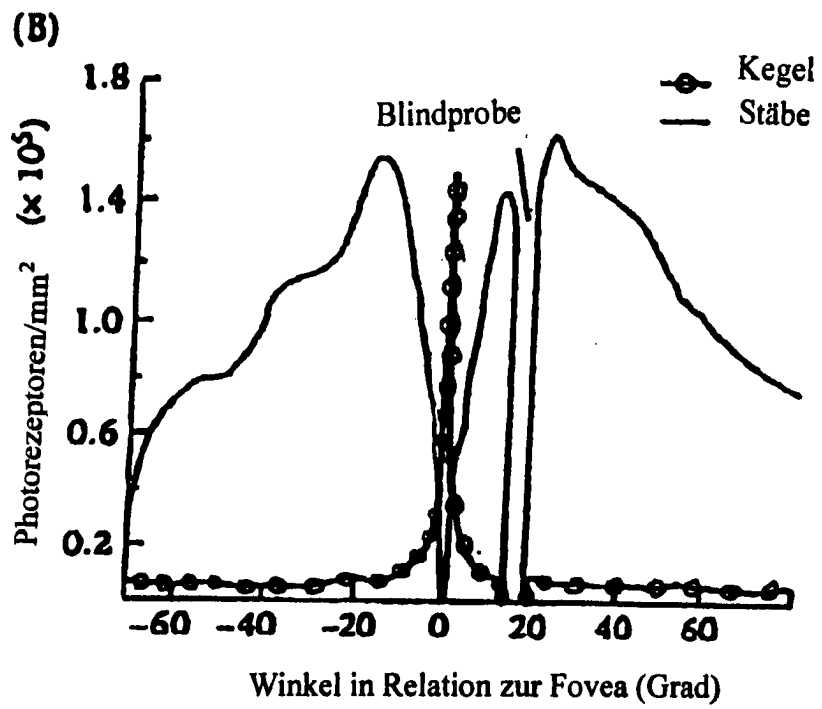


FIG. 2(a)

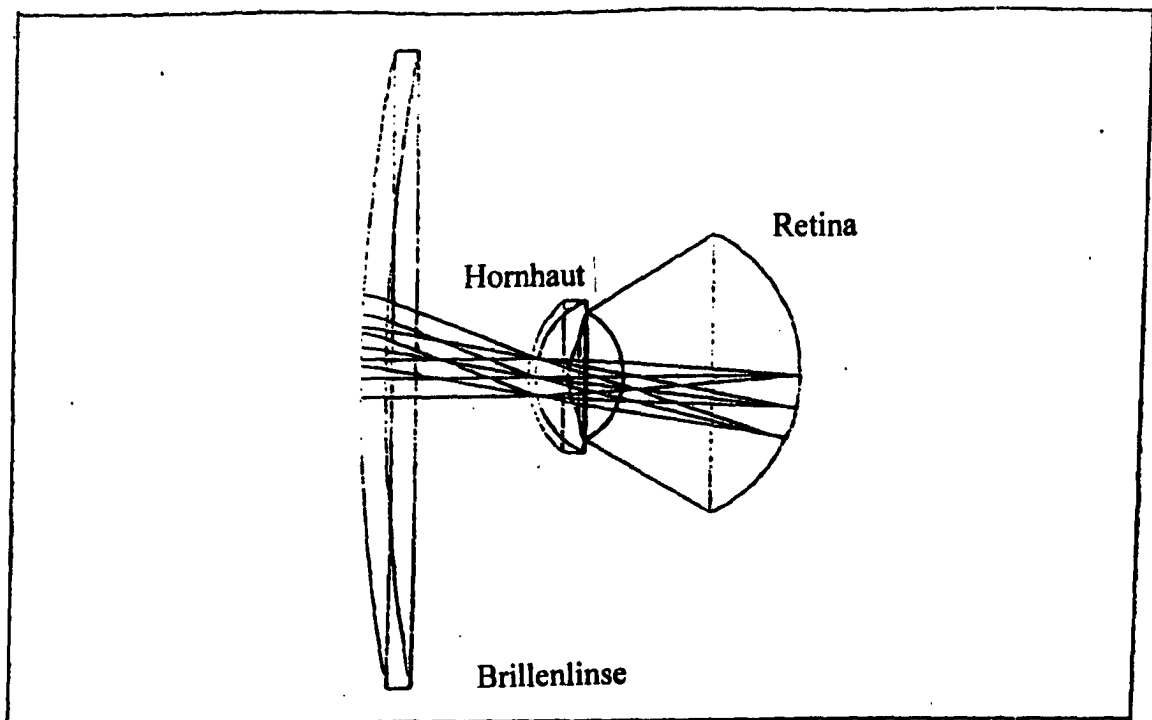


FIG. 2(b)

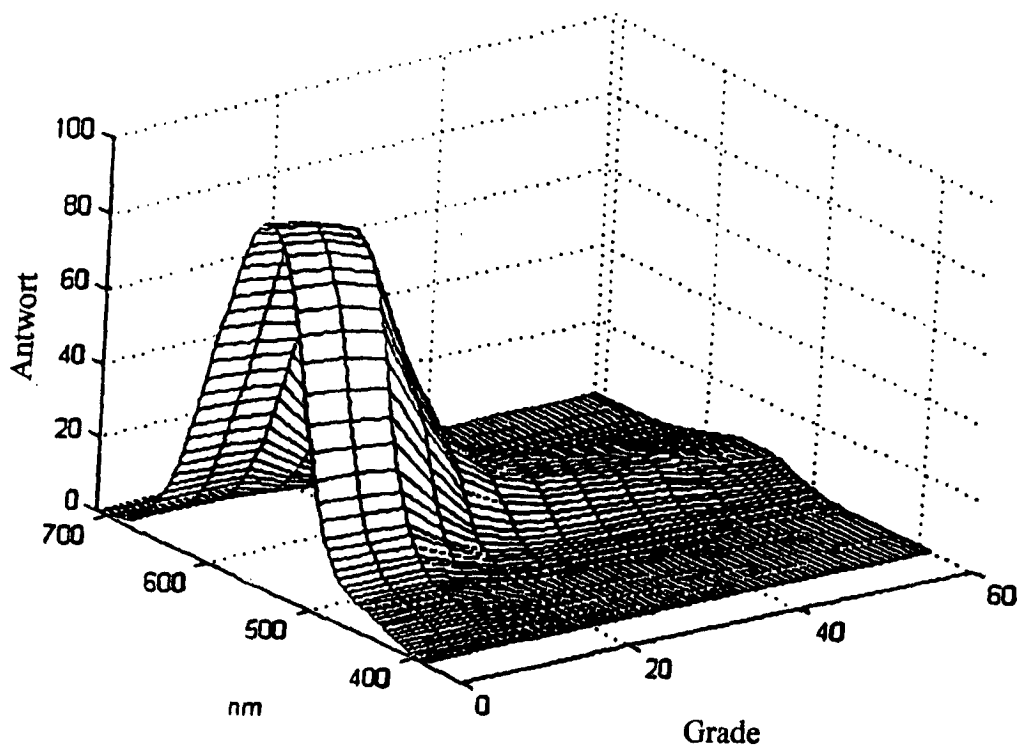


FIG. 3

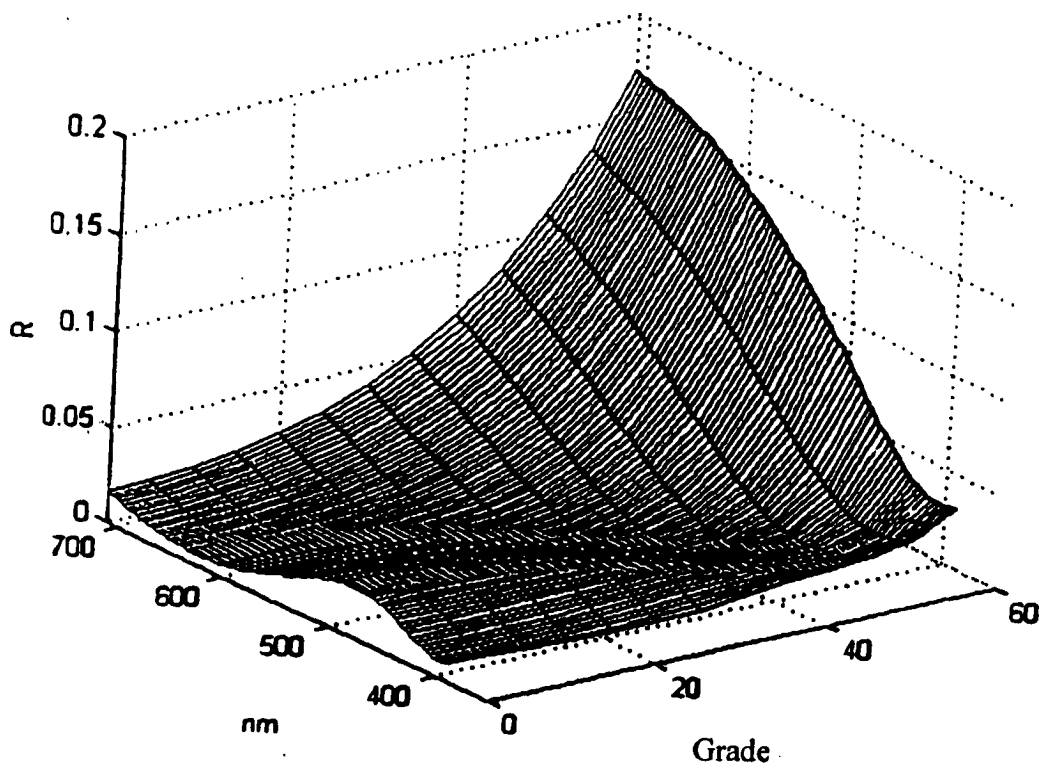


FIG. 4

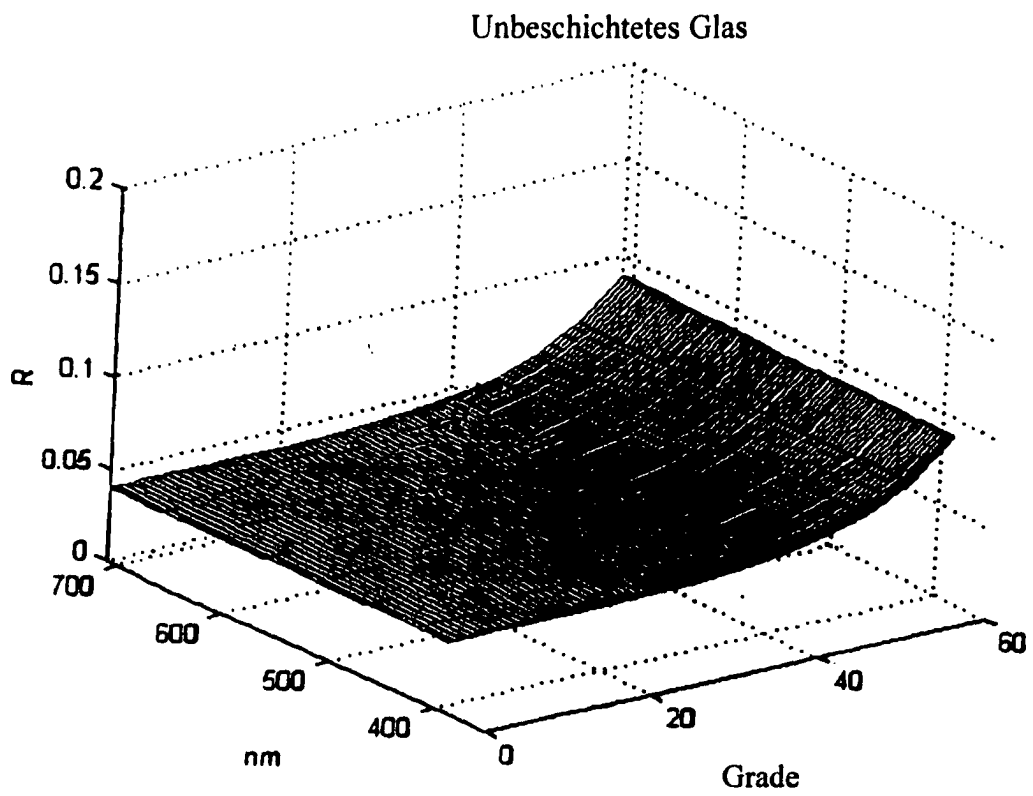


FIG. 5

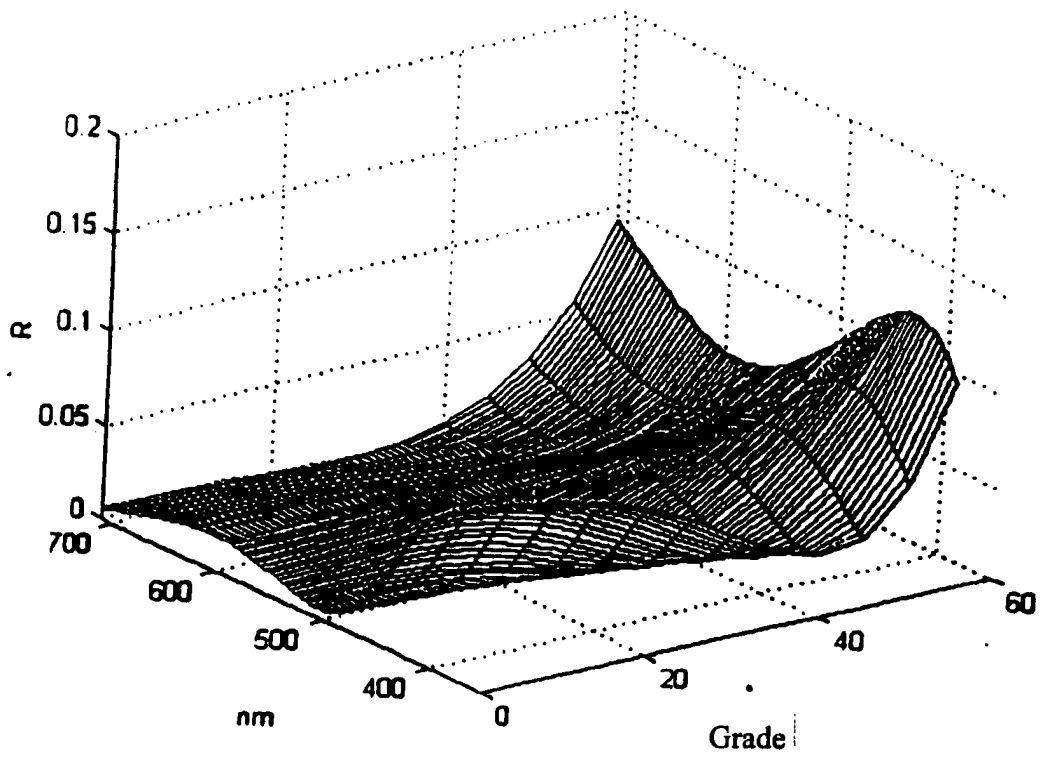


FIG. 6(a)

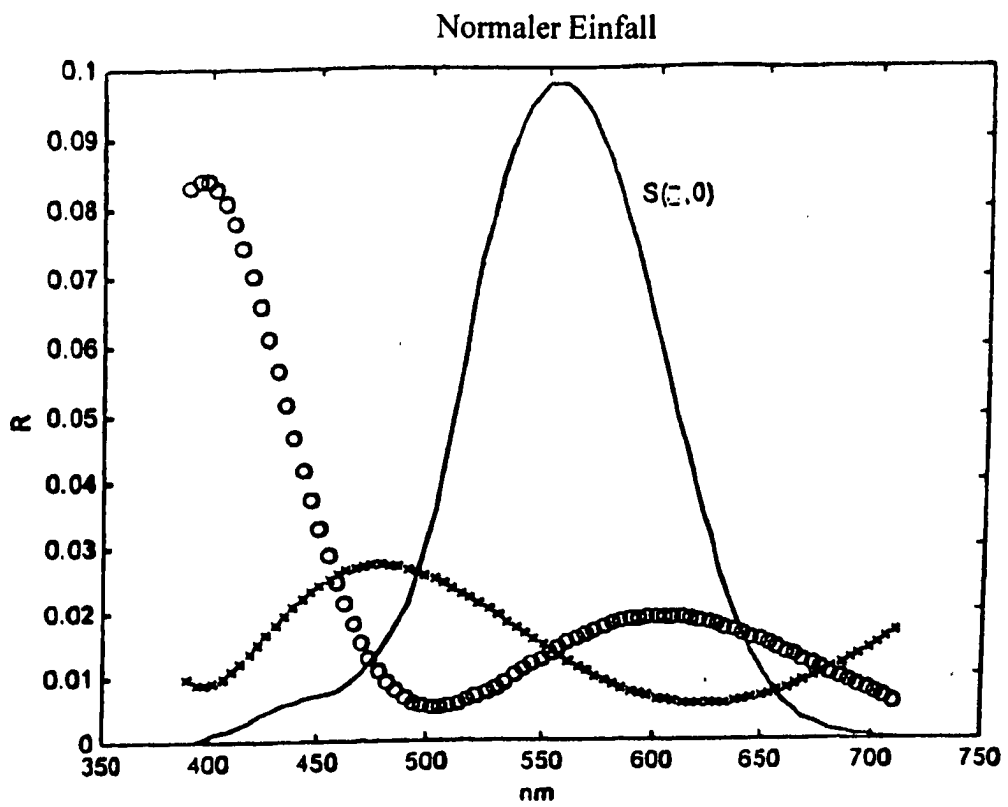


FIG. 6(b)

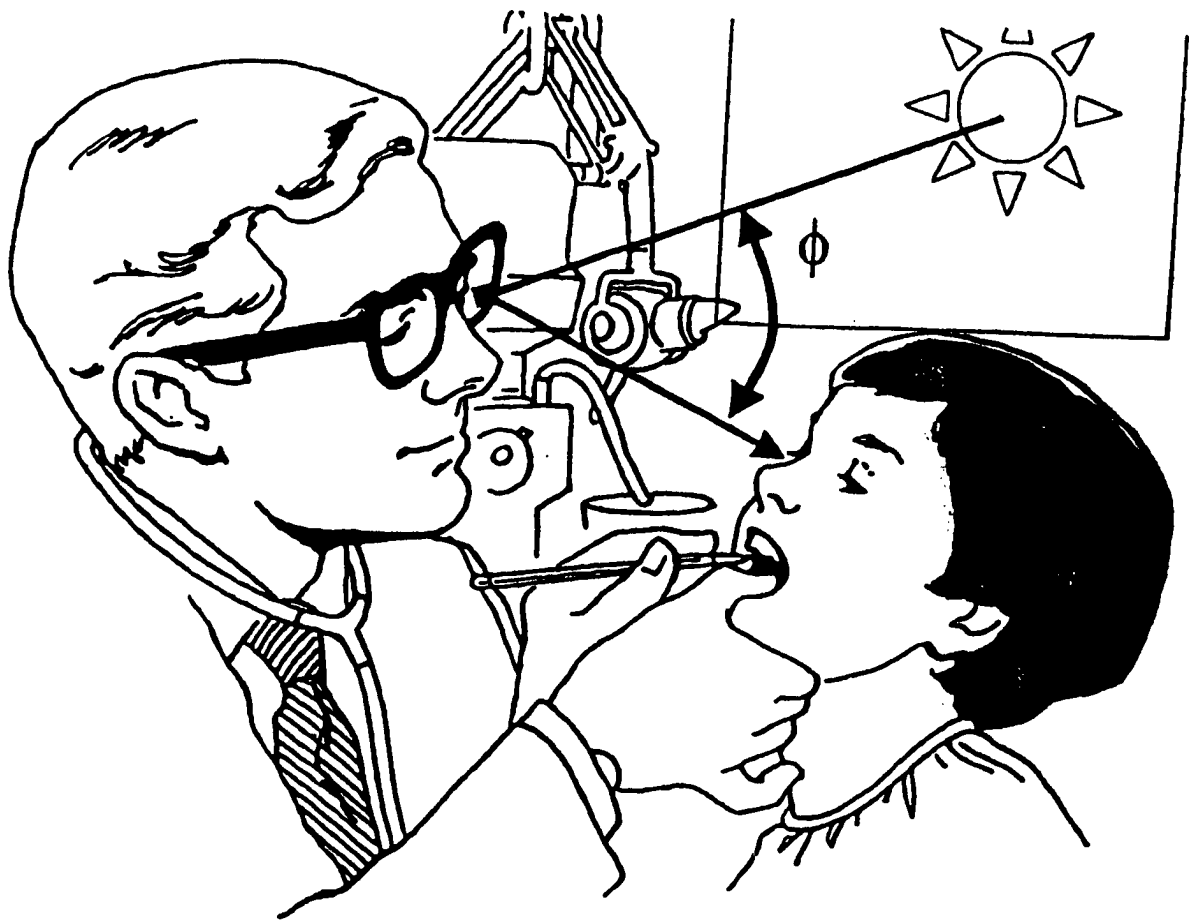


FIG. 7

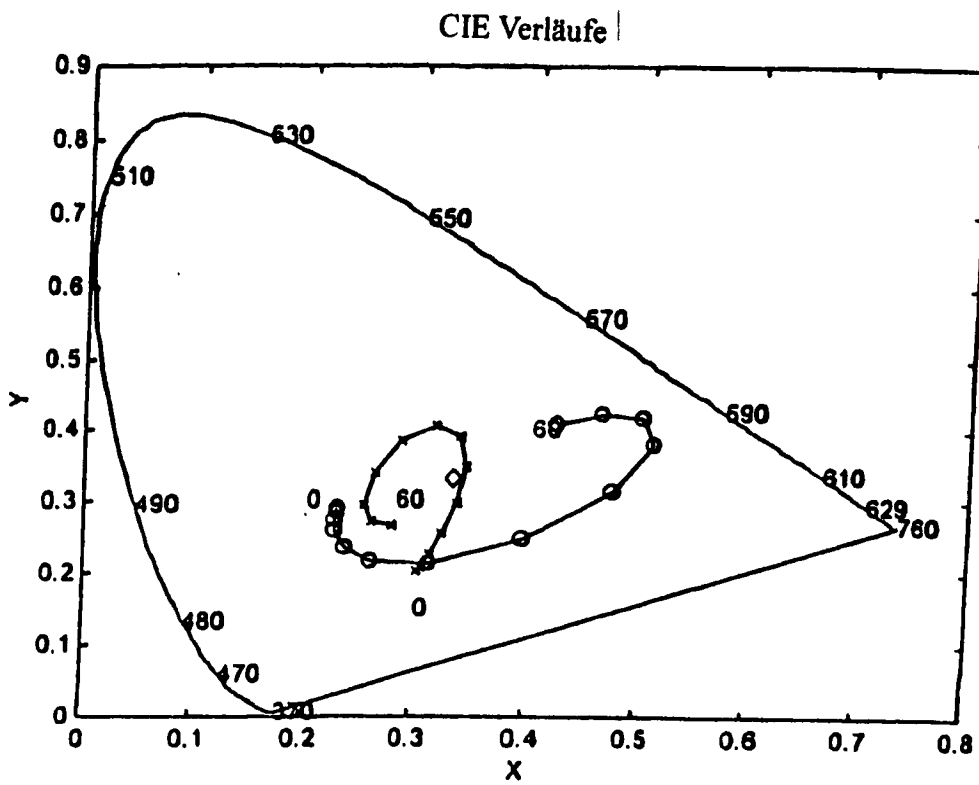


FIG. 8

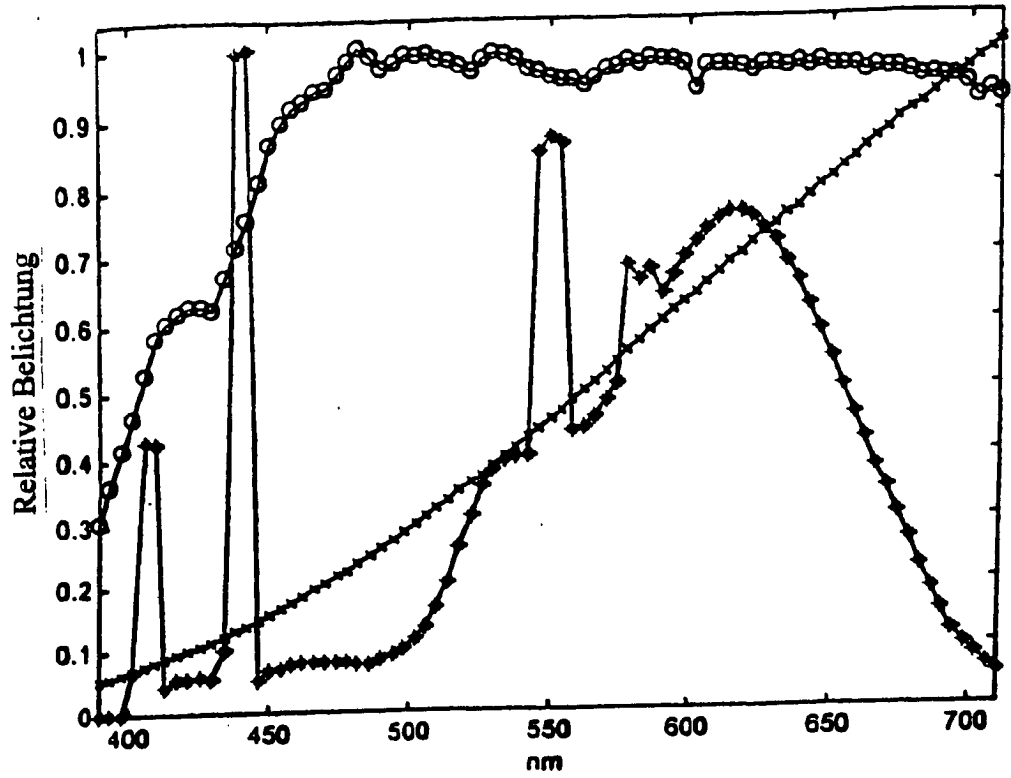


FIG. 9(a)

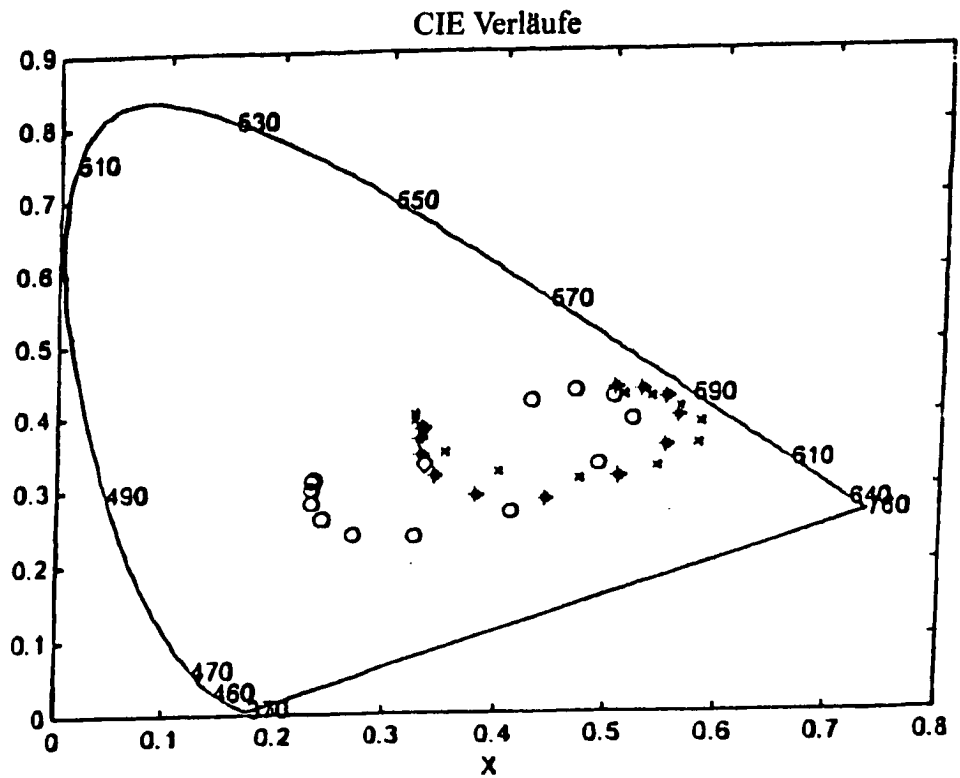


FIG. 9(b)

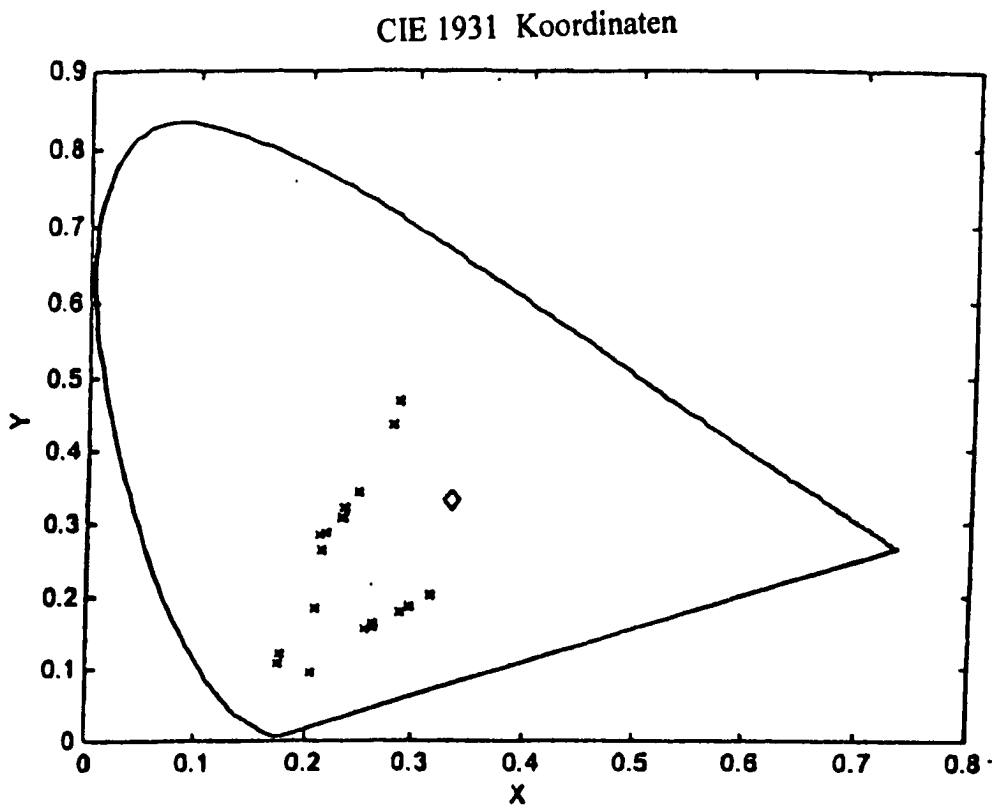


FIG. 10

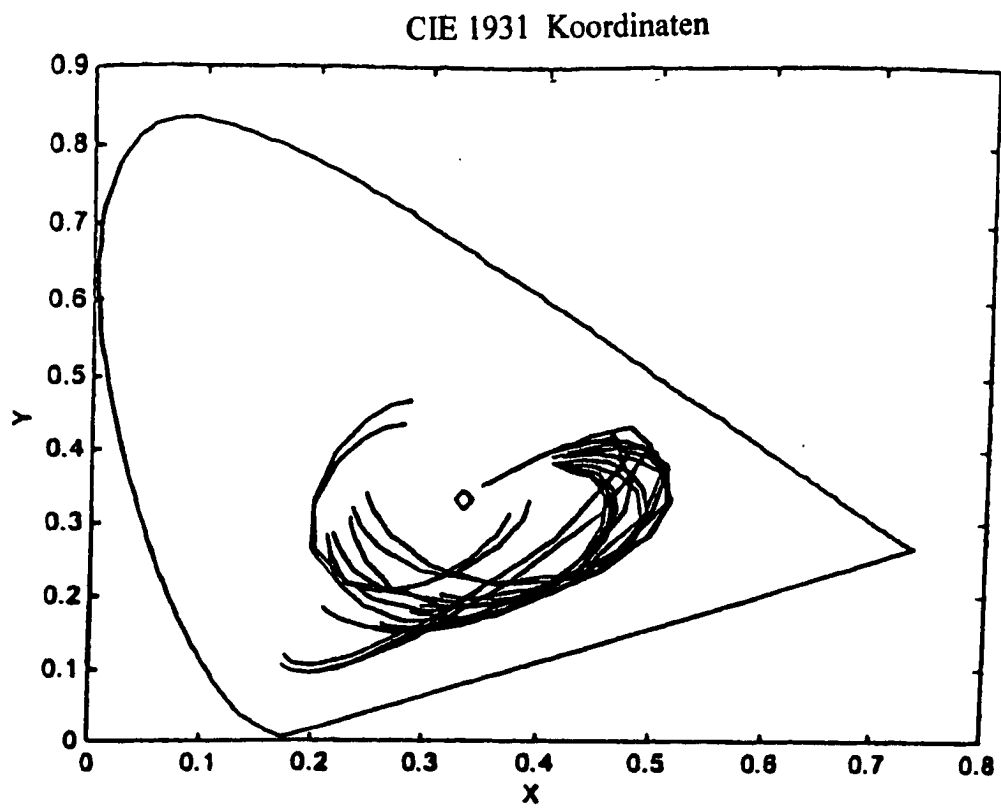


FIG. 11

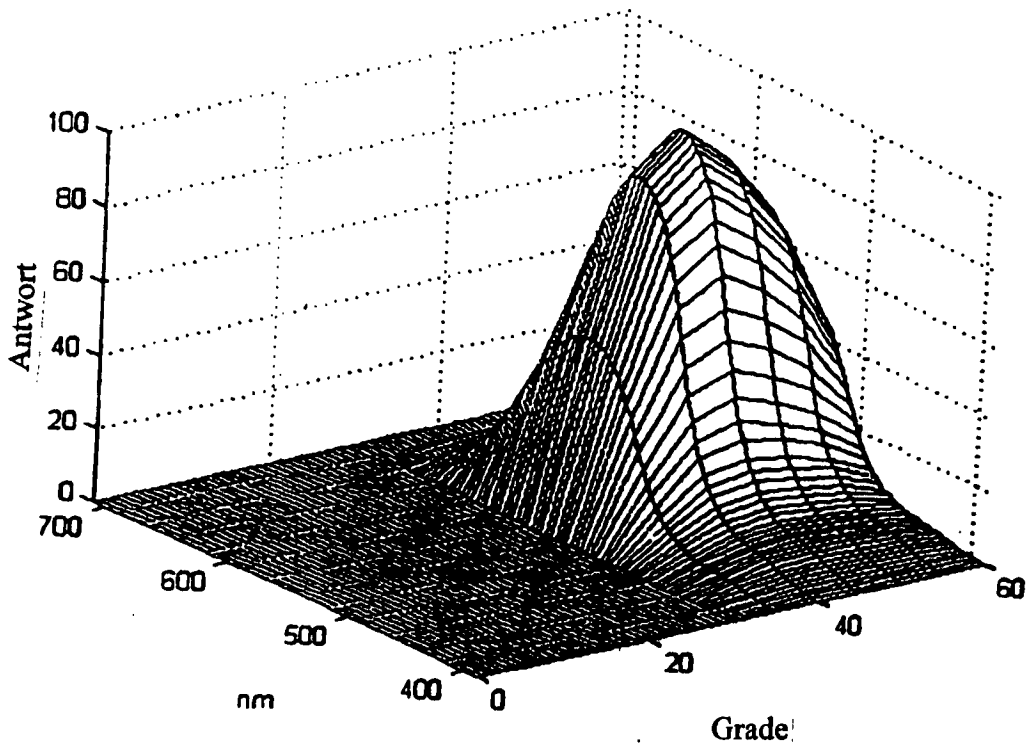


FIG. 12

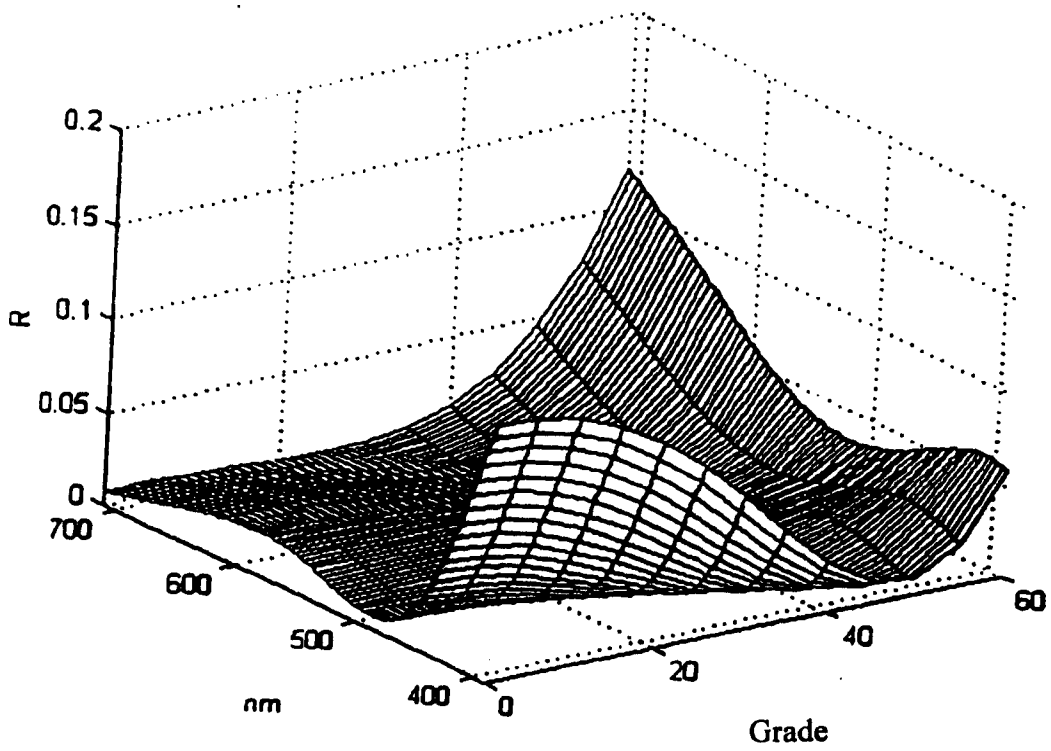


FIG. 13

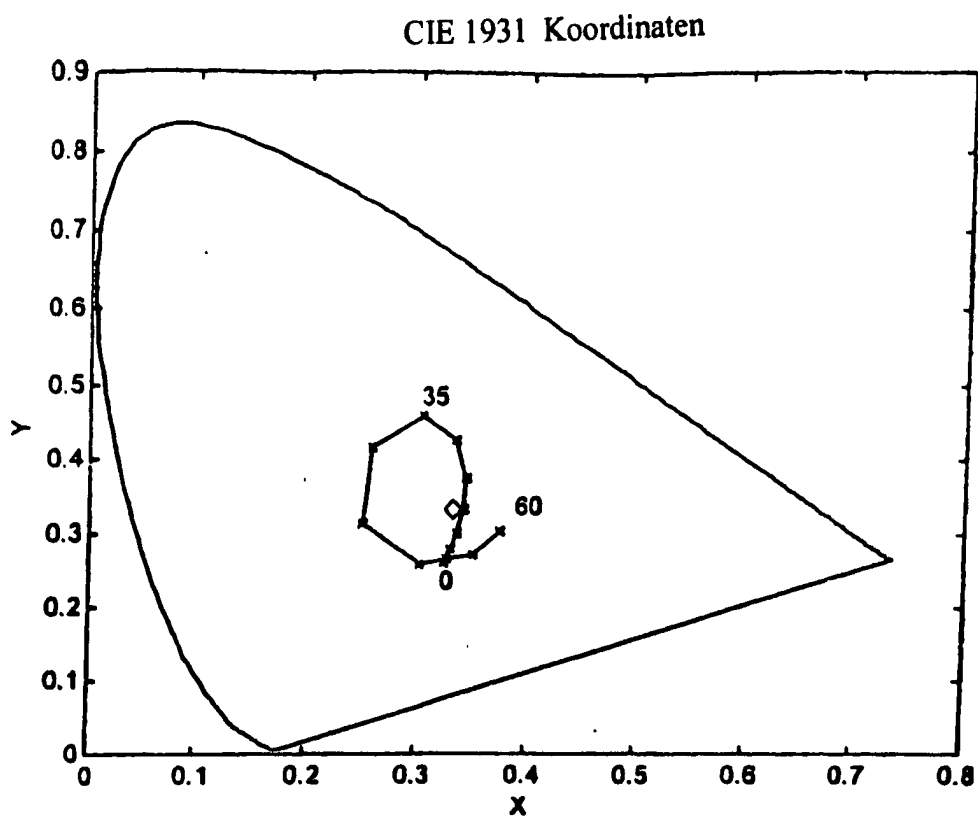


FIG. 14