



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 697 37 907 T2 2008.04.03

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 898 841 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 697 37 907.8

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US97/08290

(96) Europäisches Aktenzeichen: 97 926 547.7

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 1997/043862

(86) PCT-Anmeldetag: 14.05.1997

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 20.11.1997

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 03.03.1999

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 11.07.2007

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 03.04.2008

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: H04N 9/31 (2006.01)

H04N 5/74 (2006.01)

G02F 1/1347 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

645580 14.05.1996 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(73) Patentinhaber:

Colorlink, Inc., Boulder, Col., US

(72) Erfinder:

Sharp, Gary D., Boulder, CO 80302, US; Johnson,  
Kristina M., Longmont, CO 80503, US

(74) Vertreter:

Zenz, Helber, Hosbach & Partner GbR, 45128  
Essen

(54) Bezeichnung: FARBSELEKTIVE LICHTMODULATOREN

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 eingelebt, 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]** Diese Erfindung betrifft die farbselektive Polarisationsmodulation und deren Verwendung in Filtern mit subtraktiven Farbsystemen und Vorrichtungen wie z. B. Kameras und Anzeigen, die das Farbfilter verwenden.

#### 2. Stand der Technik

**[0002]** Die Farbanzeige wird allgemein durch räumliches oder zeitliches Multiplexieren der additiven Primärfarben Rot, Grün und Blau erreicht. In einer räumlich multiplexierten Anzeige ist jedes Farbpixel in drei Subpixel aufgeteilt, eines für jede Primärfarbe. Idealerweise sind die Pixel im Vergleich zur Betrachtungsweite vom Auge klein genug, damit die Farben räumlich zu einem einzigen Vollfarbenbild integriert werden. Als Ergebnis der Aufteilung jedes Pixels wird die räumliche Auflösung der Anzeige um einen Faktor von mindestens drei reduziert. Beim zeitlichen Multiplexieren werden Farben aufeinanderfolgend zwischen den drei Primärfarben umgeschaltet, und wenn die Schaltrate schnell genug ist, integriert das Auge die drei Bilder zeitlich, um ein einziges Vollfarbenbild zu ergeben. In beiden Fällen ist das Farbfilter typischerweise mit einer Binäranzeige in Reihe angeordnet, die in der Lage ist, eine Grauskala zu erzeugen, die mit dem Farbfilter räumlich ausgerichtet und zeitlich synchronisiert ist, um die Intensität jeder Farbe zu modulieren. Um beim räumlichen Multiplexieren Weiß anzuzeigen, leuchten alle drei Subpixel gleichzeitig in einer Primärfarbe; beim zeitlichen Multiplexieren leuchten die drei Primärfarben nacheinander. In beiden Fällen kann bestenfalls nur ein Drittel der Eingangsinintensität angezeigt werden.

**[0003]** In der subtraktiven Anzeige wird Farbe erzeugt, indem drei monochrome Anzeigen gestapelt werden (zum Beispiel Plummer, US-Patentschrift Nr. 4.416.514 und Conner et al., US-Patentschrift Nr. 5.124.818). Polarisationskomponenten werden so zwischen jede Anzeigetafel angeordnet, dass jede Tafel die Anzeige einer additiven Primärfarbe idealerweise unabhängig steuert. Subtraktive Anzeigen haben den Vorteil aufzuweisen, dass jedes Pixel ein Dreifarbenpixel ist und die Anzeige im Prinzip nicht die Leistungsverluste erleidet, die mit dem räumlichen oder zeitlichen Multiplexieren einhergehen. Frühere Implementierungen waren jedoch nicht in der Lage, jede Farbe völlig unabhängig voneinander zu modulieren. Zudem verwendeten sie pleochroische Farbpolarisatoren als einzige farbselektive Polarisationskomponenten zwischen jeder Anzeigetafel. Aufgrund der schlechten Leistung von pleochroische Farbpolarisatoren, einschließlich des schlechten Farbkontrastes, hoher Einfügungsverluste und flacher Übergängen sind die Vorteile der subtraktiven Anzeigen bisher nicht verwirklicht worden.

**[0004]** Die obigen Verweise sind zweckmäßig für geeignete Lehren in Bezug auf zusätzliche oder alternative Details, Merkmale und/oder den technischen Hintergrund.

### KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0005]** Die Aspekte und Merkmale der Erfindung werden in den beiliegenden Ansprüchen dargelegt.

**[0006]** Die vorliegende Erfindung stellt einen farbselektiven Polarisationsmodulator und ein Farbfilter- oder Anzeigesystem mit einer hohen Helligkeit bereit. Die Farbtrennung wird durch nahezu verlustlose Retarderschichten erreicht, die zwischen dem Aufleuchten und Erlöschen einen hohen Farbkontrast mit scharfen Übergängen gewährleisten. Jede Filterstufe ist ein farbselektives Lichtventil, das die Durchlässigkeit (oder die Reflexion) einer Farbe variiert, ohne die Komplementärfarbe zu modulieren. Eine Stufe kann zwischen dem Durchlass von Weiß (oder Schwarz) und dem Durchlass eines gefilterten Spektrums umschalten. Zwei oder mehr Stufen können in Reihe verwendet werden, wobei jede Stufe auf unabhängige Weise den Durchlass einer Primärfarbe steuert. In einer bevorzugten Ausführungsform kann jede Stufe die analoge Intensitätsregelung der Primärfarbe in jedem Pixel steuern, wodurch die Notwendigkeit einer externen Anzeige mit Grauskalenpixelen entfällt. Eine bevorzugte Ausführungsform beseitigt interne Polarisatoren zwischen Stufen, wodurch eine Vollfarbenanzeige mit nur einem Eingangspolarisationsmittel und einem Ausgangspolarisationsmittel bereitgestellt wird. Der farbselektive Polarisationsmodulator kann zum Beispiel ein elektrooptischer oder magnetooptischer Modulator sein, der einen Modulationszustand und einen isotropen Zustand der Polarisierung aufweist, und einen Retarderstapel, der ein oder mehr Retarder aufweist. Der Modulationszustand der Polarisierung ist eine Eingangspolarisation, bei der der durchgelassene Polarisationszustand von der am Modulator anliegenden Spannung abhängt. Der isotrope Zustand der Polarisierung ist eine Eingangspolarisation, bei der der

durchgelassene Polarisationszustand im Wesentlichen von der am Modulator anliegenden Spannung unabhängig. Der Retarderstapel bereitet das Licht chromatisch derart vor, dass ein erstes Spektrum in den Modulationszustand des Modulators versetzt wird und ein zweites, komplementäres Spektrum in den isotropischen Zustand versetzt wird. Dadurch moduliert der Modulator den Polarisationszustand des ersten Spektrums, lässt die Polarisierung des Komplementärspektrums aber im Wesentlichen unmoduliert. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Spektren additive und subtraktive Primärspektren.

**[0007]** Ein Filter wird geformt, indem der farbselektive Polarisationsmodulator mit einem Polarisationsanalysator kombiniert wird. Der Polarisationsanalysator kann ein zweiter Retarderstapel in Verbindung mit einem neutralen Polarisator sein, oder er kann ein farbselektiver Polarisator wie z. B. ein farbiges Linear- oder Zirkularpolarisationsfilter sein, wofür pleochroische Farbpolarisatoren, cholesterinische Flüssigkristalle und cholesterinische Flüssigkristallpolymere jeweils Beispiele sind.

**[0008]** Falls der Polarisationsanalysator ein zweiter Retarderstapel in Verbindung mit einem neutralen Polarisator ist, gleicht der zweite Retarderstapel dem ersten Retarderstapel, mit derselben Folge von Retardierungen, aber in umgekehrter Reihenfolge. Auch die Orientierung des zweiten Retarderstapels ist in Bezug auf den ersten Stapel gedreht. Als Ergebnis erscheint der zweite Stapel in einem Schaltzustand des Modulators als mit dem ersten Stapel gekreuzt, wodurch die vom ersten Stapel verursachte Polarisationsumwandlung rückgängig gemacht wird und bei parallelen Eingangs- und Ausgangspolarisationsmitteln weißes Licht durchgelassen wird. Bei gekreuzten Polarisatoren wird Schwarz durchgelassen. In einem zweiten Schaltzustand werden die zwei Stapel als eine Einheit gesehen, in welcher der zweite Retarderstapel die vom ersten Stapel begonnene Umwandlung abschließt und die ersten und zweiten Spektren orthogonal polarisiert. In diesem Zustand lässt das Filter ein gefiltertes Spektrum durch.

**[0009]** Im Filter mit zwei Stapeln können die Polarisatoren und Stapel so orientiert sein, dass das Filter entweder normalerweise weiß ist, d. h. in Abwesenheit des Modulators weiß, oder normalerweise gefiltert ist. Im Ersteren wirkt der Modulator, um eine gefilterte Ausgabe zu erzeugen, während der Letztere den Modulator verwendet, um den weißen Zustand zu erzeugen. In beiden Fällen steuert die am Modulator anliegende Spannung das „Vorhandensein“ des zusammengesetzten Stapels, d. h., den Umfang, in dem die zwei Stapel eher zusammenwirken als sich aufheben. Wenn der Modulator zur analogen Modulation in der Lage ist, ist das spannungsgesteuerte Vorhandensein des zusammengesetzten Stapels ebenfalls analog. Die analoge Steuerung der Spannung erzeugt einen variablen Durchlass des gefilterten Spektrums.

**[0010]** Jeder Retarderstapel weist einen oder mehr Retarder auf.

**[0011]** Wenn der erste Stapel Retarder Retardierungen  $\Gamma_1, \Gamma_2 \dots \Gamma_N$  und Orientierungen  $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_N$  aufweist, dann hat der zweite Stapel Retarder Retardierungen  $\Gamma_N, \Gamma_2 \dots \Gamma_1$  und Orientierungen  $90 \pm \alpha_N \dots 90 \pm \alpha_2, 90 \pm \alpha_1$ , damit die zwei Stapel sich in einem Schaltzustand einander aufheben. Bei parallelen Polarisatoren ist das Filter normalerweise weiß, wenn die Retarder des zweiten Stapels bei  $90 + \alpha_N$  orientiert sind, und ist normalerweise gefiltert, wenn Retarder des zweiten Stapels bei  $90 - \alpha_N$  orientiert sind.

**[0012]** Geeignete Zweistapeldesigns können erzeugt werden, indem die Zahl der Retarder N gewählt wird, schrittweise durch einen Wertebereich für  $\Gamma_N$  und  $\alpha_N$  gegangen wird, die obigen Retarderorientierungsregeln angewandt werden, um den zweiten Stapel zu definieren, die Durchlässigkeit des gefilterten Spektrums berechnet wird und Filterdesigns gewählt werden, die die gewünschten Spektren erzeugen, typischerweise additive oder subtraktive Primärspektren. Alternativ dazu können bestimmte Klassen von Filterdesigns verwendet werden, die sich für die weiße/gefilterte Struktur eignen. Insbesondere fächerartig gefaltete Solc-Filter können für die Orientierungsanforderungen geeignet sein, ebenso wie Split-Element-Filter.

**[0013]** Zusätzlich zu den Retarderstapeln können zusätzliche Polarisationsumwandlungselemente zwischen den Eingangs- und Ausgangspolarisatoren vorgesehen werden, zum Beispiel, um Kompatibilitätsprobleme zwischen den Polarisatoren und dem Modulatortyp zu lösen. Bei polarisierten Lichtquellen ist kein Eingangspolarisator erforderlich. In Ausführungsformen ohne interne Polarisatoren können die Filter in Polarisationsdiversitätskonfigurationen betrieben werden, die Polarisationsstrenner/-kombinatoren für die Eingangs- und Ausgangspolarisatoren aufweisen.

**[0014]** Hybridfilter können hergestellt werden, indem die Filter dieser Erfindung in Verbindung mit anderen aktiven oder passiven Filtern verwendet werden. Die erfindungsgemäßen Farbfilter können mit passiven Filtern wie z. B. Retarder auf der Basis von Sperrfiltern und dichroitischen Filtern zum Sperren von UV-, IR oder anderen Lichtbändern kombiniert werden. Sie können mit anderen aktiven Filtern wie Polarisationsinterferenzfil-

tern und geschalteten Polarisationsfiltern verwendet werden.

**[0015]** Die Spektralfilter dieser Erfindung sind als Farbfilter im sichtbaren Spektrum besonders geeignet. Sie können auch zur Verwendung in anderen Wellenlängenbereichen für spektroskopische, spektrometrische, Nachtsichtfilter- oder Wellenlängenmultiplex-Anwendungen hergestellt werden. Die Farbfilter dieser Erfindung können in vielen Anwendungen genutzt werden, insbesondere auf den Gebieten der Aufnahme und Anzeige von Farbbildern. Sie können in einem Mehrfachpixelarray angeordnet sein, können räumlich oder zeitlich multiplexiert werden und können optisch adressiert werden.

**[0016]** Weitere Vorteile, Aufgaben und Merkmale der Erfindung werden zum Teil in der folgenden Beschreibung dargelegt und gehen für den Fachmann zum Teil aus dem Folgenden hervor oder werden beim Umsetzen der Erfindung in die Praxis verständlich. Die Aufgaben und Vorteile der Erfindung können wie in den beiliegenden Ansprüchen angegeben realisiert und erreicht werden.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0017]** Die Erfindung wird Bezug nehmend auf die folgenden Zeichnungen ausführlich beschrieben, in denen sich gleiche Bezugszeichen sich auf gleiche Elemente beziehen, wobei:

**[0018]** [Fig. 1](#) ein Filter zeigt, das einen farbselektiven Polarisationsmodulator in Verbindung mit einem Polarisationsanalysator verwendet.

**[0019]** Der Polarisator kann ein holografischer Polarisator sein, was ein Hologramm ist, das einen Polarisationszustand sieht und nicht den anderen. Ein holografischer Polarisator bricht Licht in einem ersten Polarisationszustand und bricht kein Licht des zweiten Polarisationszustands. Der Polarisator **40** kann auch ein EM Industries Transmax-Polarisator sein.

**[0020]** [Fig. 2](#), umfassend [Fig. 2a–b](#), ist ein Filter, in dem der Polarisationsanalysator ein Retarderstapel in Verbindung mit einem neutralen Polarisator ist, der (a) in einem ersten Schaltzustand des Modulators Weiß und (b) in einem zweiten Schaltzustand ein gefiltertes Spektrum durchlässt.

**[0021]** [Fig. 3](#), umfassend [Fig. 3a–b](#), ist ein Filter, in dem der Polarisationsanalysator ein lineares farbiges Polarisationsfilter ist, das (a) in einem ersten Schaltzustand des Modulators Weiß und (b) in einem zweiten Schaltzustand Gelb durchlässt.

**[0022]** [Fig. 4](#), umfassend [Fig. 4a–b](#), ist ein Filter, in dem der Polarisationsanalysator ein cholesterinisches Flüssigkristall ist, das (a) in einem ersten Schaltzustand des Modulators Weiß und (b) in einem zweiten Schaltzustand Gelb durchlässt.

**[0023]** [Fig. 5](#) ist eine normalerweise weiße Ausführungsform des Filters von [Fig. 2](#).

**[0024]** [Fig. 6](#) ist eine normalerweise gefilterte Ausführungsform des Filters von [Fig. 2](#).

**[0025]** [Fig. 7](#), umfassend [Fig. 7a–b](#), zeigt Filter mit (a) insgesamt zwei Retardern und (b-d) vier Retardern.

**[0026]** [Fig. 8](#) ist die gemessene Durchlässigkeit eines Grün/Weiß-Filters.

**[0027]** [Fig. 9](#) ist die gemessene Durchlässigkeit eines Weiß/Cyan-Filters.

**[0028]** [Fig. 10](#) ist die gemessene Durchlässigkeit eines Weiß/Magenta-Filters.

**[0029]** [Fig. 11](#) ist die gemessene Durchlässigkeit eines Weiß/Gelb-Filters.

**[0030]** [Fig. 12](#) zeigt die gemessene Durchlässigkeit des Weiß/Magenta-Filters von [Fig. 10](#) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel bei einem Azimutwinkel von  $0^\circ$ .

**[0031]** [Fig. 13](#) zeigt die gemessene Durchlässigkeit des Weiß/Magenta-Filters von [Fig. 10](#) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel bei einem Azimutwinkel von  $90^\circ$ .

**[0032]** [Fig. 14](#) zeigt die gemessene Durchlässigkeit des Weiß/Magenta-Filters von [Fig. 10](#) in Abhängigkeit

von der an der Flüssigkristallanzeige angelegten Effektivspannung.

- [0033] [Fig. 15](#) zeigt die kontinuierliche Modulation einer Weiß/Cyan-Filterstufe.
- [0034] [Fig. 16](#) zeigt die kontinuierliche Modulation einer Weiß/Magenta-Filterstufe.
- [0035] [Fig. 17](#) zeigt die kontinuierliche Modulation einer Weiß/Gelb-Filterstufe.
- [0036] [Fig. 18](#) zeigt die äußersten Schaltzustände einer Magenta/Weiß-Filterstufe.
- [0037] [Fig. 19](#) ist ein Mehrfachstufenfilter mit Polarisatoren zwischen Stufen.
- [0038] [Fig. 20](#) ist ein Filter, das aus Blau, Grün und Rot modulierenden Stufen ohne interne Polarisatoren besteht.
- [0039] [Fig. 21](#) ist ein spezifisches dreistufiges Filterdesign.
- [0040] [Fig. 22](#), umfassend [Fig. 22a](#)–c, sind die (a) Rot-, (b) Grün- und (c) Blau-Ausgaben des Filters von [Fig. 21](#).
- [0041] [Fig. 23](#), umfassend [Fig. 23a](#)–c, sind die (a) Cyan-, (b) Gelb- und (c) Magenta-Ausgaben des Filters von [Fig. 21](#).
- [0042] [Fig. 24](#) ist die Weiß-, Schwarz- und Grauskalen-Ausgabe des Filters von [Fig. 21](#).
- [0043] [Fig. 25](#), umfassend [Fig. 25a](#)–c, zeigt (a) Rot, Grün- und Blau-Durchlassspektren eines dreistufigen Filters und die Dunkelzustände, die mit (b) Polarisatoren zwischen Stufen und (c) ohne interne Polarisatoren erreicht werden.
- [0044] [Fig. 26](#) ist ein polarisationsunabhängiges Mehrfachstufenfilter.
- [0045] [Fig. 27](#) ist ein Filter mit verschachtelten Polarisationsstapeln.
- [0046] [Fig. 28](#) ist ein dreistufiges Filter, das cholesterinische Flüssigkristalle für die Polarisationsanalysatoren verwendet.
- [0047] [Fig. 29](#) zeigt einen Stapel, der einen ersten und zweiten Retarder mit einer ersten und zweiten Orientierung sowie einer ersten und zweiten Retardierung aufweist.
- [0048] [Fig. 30](#), umfassend [Fig. 30a](#) und [Fig. 30b](#), zeigt zwei allgemeine Beispiele für partiell polarisiertes Licht, das in Stapel einfällt, die dem Stapel von [Fig. 29](#) entsprechen.
- [0049] [Fig. 31](#), umfassend [Fig. 31a](#) und [Fig. 31b](#), zeigt Stapel mit dem Zusatz von Polarisatoren.
- [0050] [Fig. 32](#), umfassend [Fig. 32a](#) und [Fig. 32b](#), zeigt eine Vorrichtung, um partiell polarisiertes Licht zu manipulieren und das resultierende Modulatorausgangslicht auszugeben.
- [0051] [Fig. 33a](#) zeigt eine Vorrichtung, um mindestens partiell polarisiertes Licht zu manipulieren, und [Fig. 33b](#) entspricht [Fig. 33a](#) für den Fall, in dem partiell polarisiertes Licht elliptisch polarisiert wird.
- [0052] [Fig. 34](#) ist ein subtraktives Farbfilter des Stands der Technik.
- [0053] [Fig. 35](#), umfassend [Fig. 35a](#) und [Fig. 35b](#), ist ein Filter mit einem verdrillten nematischen elektrooptischen Modulator.
- [0054] [Fig. 36](#) ist ein dreistufiges Filter mit dem Filter von [Fig. 35](#).
- [0055] [Fig. 37](#) ist ein in Reihe geschaltetes Filter, das eine erste Stufe verwendet, um zwei Primärfarben zeitlich zu multiplexieren, mit einer zweiten Stufe, die ausschließlich der dritten Primärfarbe zugeordnet ist.

[0056] [Fig. 38](#) zeigt ein Beispiel einer passiven Vorfilterungsvorrichtung, wobei die Kästen Retarder anzeigen, die in den Winkeln orientiert sind, die im unteren Abschnitt des Kastens angegeben sind.

[0057] [Fig. 39](#) zeigt die Durchlässigkeit für sichtbares Licht, das auf dieses Filter einfällt.

[0058] [Fig. 40](#) zeigt eine Direktsicht-Wiedergabeeinrichtung, die den obigen farbselektiven Polarisationsmodulator wie zum Beispiel in [Fig. 1](#) gezeigt verwendet.

[0059] [Fig. 41](#) zeigt ein Helmanzeigesystem, in dem der obige farbselektive Polarisationsmodulator wie zum Beispiel in [Fig. 1](#) gezeigt integriert ist.

[0060] [Fig. 42](#) zeigt ein System mit zwei Lichtventilen, das den obigen farbselektiven Polarisationsmodulator wie zum Beispiel in [Fig. 1](#) gezeigt verwendet.

[0061] [Fig. 43](#) ist ein schematisches Diagramm eines erfindungsgemäßen zweifarbigem Anzeigesystems mit Shutter.

[0062] [Fig. 44](#) veranschaulicht die Verwendung eines Shuttersystems für einen Overheadprojektor.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0063] Der erfindungsgemäße farbselektive Polarisationsmodulator wird in [Fig. 1](#) veranschaulicht. Der Polarisationsmodulator **60** besteht aus dem Modulator **10** in Verbindung mit dem Retarderstapel **20**. Der Polarisationsmodulator verwendet polarisiertes Eingangslicht, in diesem Fall wird die Polarisation  $P_o$  vom Polarisator **40** erzeugt. Der Polarisationsmodulator kann mit dem Polarisationsanalysator **70** kombiniert werden, um ein Filter zu ergeben.

[0064] Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, kann einfallendes weißes Licht als eine Kombination aus Licht mit dem Spektrum  $F$  und Licht mit dem Komplementärspektrum  $F_+$  betrachtet werden. Der Retarderstapel **20** wandelt die Polarisation des Lichts im Spektrum  $F$  in den Modulationszustand  $P_M$  der Polarisation des Modulators **10** um und wandelt Licht im Spektrum  $F_+$  in den isotropischen Zustand  $P_i$  der Polarisation um. Für eines der Spektren kann die Umwandlung eine Identitätsumwandlung sein, d. h., die Polarisation kann unverändert sein. Licht der Polarisation  $P_i$  wird durch den Modulator **10** mit einer Polarisation durchgelassen, die sich mit der anliegenden Spannung nicht verändert. Licht mit der Polarisation  $P_M$  wird in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung zur Polarisation  $P_M$  umgewandelt. Auf diese Weise wird die Polarisation eines Teils des Eingangslichts moduliert, und nicht der Rest.

[0065] Der Modulator ist eine Vorrichtung, die durch das Anlegen einer Spannung den Polarisationszustand des durchgelassenen Lichts steuert. Der Modulator weist sowohl einen Modulationszustand der Polarisation als auch einen isotropischen Zustand der Polarisation, d. h., es liegt ein Polarisationszustand des Eingangslichts vor, in dem der durchgelassene Polarisationszustand von der am Modulator anliegenden Spannung abhängt, und ein Polarisationszustand, in dem er im Wesentlichen unabhängig davon ist. Beim isotropischen Zustand ist die Polarisation typischerweise unverändert, doch in manchen Systemen kann die Polarisation eine spannungsunabhängige Umwandlung wie z. B. eine 90°-Drehung des linearen Lichts oder Richtungsumkehr des zirkularen Lichts aufweisen. Die Begriffe Polarisation und Polarisationszustand werden auf austauschbare Weise benutzt.

[0066] Eine geeignete Klasse von Modulatoren ist der elektrooptisch variable Retarder mit fester Orientierung und spannungsgesteuerter Retardierung. Die isotropischen Polarisationszustände sind parallel und rechtwinklig zur Ebene der optischen Achse. In diesem Fall sind sie die Eigenmoden oder ordentlichen und außerordentlichen Wellen des Retarders. Es ist eine spannungsgesteuerte Phasenverschiebung zwischen den ordentlichen und außerordentlichen Polarisierungen vorhanden. Diese beeinflusst die durchgelassene Polarisation in keinem der isotropischen Zustände. Die durchgelassene Polarisation wird aber geändert, wenn das Eingangslicht in beiden isotropischen Zuständen Projektionen aufweist. Der bevorzugte Modulationszustand ist die lineare Polarisation, die die zwei isotropischen Polarisierungen schneidet. Es weist eine maximale Modulationstiefe auf, weil die Projektionen entlang der zwei isotropischen Zustände gleiche Amplituden aufweist. Elektrooptische Modulatoren, die  $\text{LiNbO}_3$ , Quarz und Flüssigkristalle wie z. B. nematische Flüssigkristalle mit Zero-Twist wie homogen ausgerichtete elektrisch gesteuerte doppelbrechende (ECB), homeotropisch ausgerichtete optisch gesteuerte doppelbrechende (OCB), hybrid ausgerichtete nematische (HAN) und nematische Pi-Zelle/Surface-Mode Flüssigkristalle enthalten, sind bevorzugte Ausführungsformen dieser Gruppe von elektroop-

tischen Modulatoren.

**[0067]** Optisch aktive Vorrichtungen sind eine andere Gruppe von geeigneten elektrooptischen Modulatoren. Optisch aktive Vorrichtungen sind Polarisationsdreher, wobei die Drehung von der Orientierung der Polarisierung des Einfallslichts unabhängig ist. Die isotropischen Zustände sind links- und rechtsdrehende Zirkularpolarisationen. Der Modulator führt die spannungsgesteuerte Phasenverschiebung der Zirkularpolarisationen durch, die den Zirkularpolarisationszustand nicht beeinflusst. Doch bei Linearzuständen, die in gleiche Amplituden der Zirkularpolarisationen zerlegt werden können, ist die durchgelassene Polarisation linear, und die Orientierung wird durch die Phasenverschiebung zwischen den Zirkularzuständen bestimmt. Daher wirken optisch aktive Modulatoren als Polarisationsdreher für Linearzustände, und der Modulationszustand der Polarisation ist ein Linearzustand.

**[0068]** Retarder mit chiral-smektische Flüssigkristallen (CSLC) reflektieren die Polarisation durch eine Achse, statt die Polarisation zu drehen, doch in ihrem isotropischen und Modulationszustand der Polarisation sind sie optisch aktive Vorrichtungen. Im Gegensatz zu nematischen Flüssigkristallen mit Nulldrehung sind CSLCs drehbare Retarder, die eine feste Retardierung und eine Orientierung der optischen Achse haben, die durch die anliegende Spannung bestimmt wird. Bei einer Halbwellenretardierung weisen CSLCs zirkulare isotropische Zustände und lineare Modulationszustände auf. Die spannungsgesteuerte Orientierung der optischen Achse des CSLCs legt die durchgelassene Orientierung des linearen Lichts fest.

**[0069]** Es gibt auch elektrooptische Modulatoren, die Zwischenmodulations- und -isopische Zustände aufweisen, wie z. B. Twisted Nematic-Vorrichtungen. Es hat sich erweisen, dass eine Twisted Nematic-Vorrichtung ein elliptischer Retarder mit elliptischen Eigenpolarisationszuständen ist. Wie im linearen Retarder wird die Phasenverschiebung im Wesentlichen durch eine spezielle Helizität des Polarisationszustands bestimmt. (J.L. Pezzaniti und R.A. Chipman, (1993), „Phase-only modulation of a twisted nematic liquid-crystal TV by use of the eigenpolarization states“, Opt. Lett. 18, 1567–1569).

**[0070]** Geeignete nematische Flüssigkristallzelle zur Verwendung im elektrooptischen Modulator schließen Twisted Nematic (TN), Super Twisted Nematic (STN), elektrisch gesteuert doppelbrechende, Hybridfeldeffekt, Pi-Zellen und Surface-Modus, Zero-Twist-Modus, Hybrid-Aligned-Nematic-Flüssigkristall-Retarder ein. Geeignete smektische Flüssigkristalle schließen chiral-smektische, ferroelektrische, SmC\*, oberflächenstabilisierte SmC\*, volumenstabilisierte SmC\*, binäre SmC\*, analoge SmC\*, SmA\*, elektrokinische, verzerrt-helikale ferroelektrischen, anti-ferroelektrische, flexoelektrische und achiral-ferroelektrische Flüssigkristall-Retarder ein. Wenn auf einem der Substrate der Vorrichtung Seitenelektroden verwendet werden statt transparente Elektroden, die auf gegenüberliegenden Substraten aufgetragen sind, können nematische Flüssigkristalle als drehbare Retarder mit fester Retardierung wirken; und smektische Flüssigkristalle können als variable Retarder mit fester Orientierung wirken.

**[0071]** Zusammengesetzte Retarder, die einen aktiven Flüssigkristall-Retarder in Verbindung mit einem oder mehreren passiven Retardern verwenden, können im elektrooptischen Modulator verwendet werden. Besonders nützlich sind achromatische zusammengesetzte Retarder, wie in der US-Patentanmeldung 08/419.593 beschrieben und achromatische Polarisationsdreher, wie in der US-Patentanmeldung 08/549.963 beschrieben.

**[0072]** Der achromatische zusammengesetzte Retarder umfasst einen drehbaren Flüssigkristall-Halbwellenretarder, der von passiven Retardern flankiert wird, wobei die Orientierungen und Retardierungen der passiven Retarder derart sind, dass der zusammengesetzte Retarder achromatisch ist. Der achromatische Polarisationsdreher umfasst einen drehbaren Flüssigkristall-Halbwellenretarder in Verbindung mit einem passiven Halbwellenretarder.

**[0073]** Zur Kompatibilität zwischen den Retarderstapeln und dem elektrooptischen Modulator können passive Retarder im elektrooptischen Modulator eingeschlossen werden. Wenn die Retarderstapel das Licht zum Beispiel zu zwei Linearpolarisationen vorbereiten, die um 45° getrennt sind, sind dies die Modulations- und isotropischen Polarisationszustände für einen variablen Retarder mit fester Orientierung. Ein passiver Viertelwellenretarder, der parallel zu einem der Polarisationszustände angeordnet ist, wandelt die zwei Linearpolarisationen in eine Linear- und eine Zirkularpolarisation um, die der Modulations- und isotropische Polarisationszustand für einen drehbaren Retarder mit fester Retardierung sind. Wenn der elektrooptische Modulator auf jeder Seite eines CSLCs einen Viertelwellenretarder aufweist, können statt dessen mit einem drehbaren Retarder Stapel verwendet werden, die für einen variablen Retarder ausgelegt sind.

**[0074]** Der Retarderstapel **20** umfasst einen oder mehrere passive Retarder. Bei  $N$  Retardern sind die Orientierungen  $\alpha_1$  bis  $\alpha_N$  und die Retardierungen  $\Gamma_1$  bis  $\Gamma_N$ . Jedes Retardierungsmaterial kann in den Retarderstapeln verwendet werden. Retardermaterialien gewährleisten Folgendes: hohe optische Klarheit, gleichmäßige Retardierung, den Designanforderungen entsprechender Retardierungsbereich (dies hängt vom Bereich der induzierten Doppelbrechung und vom praktischen Dickenbereich ab), Umweltbeständigkeit und in vielen Fällen große Fläche und geringe Kosten.

**[0075]** Retarderstapel können zum Beispiel mit Schichten aus formdoppelbrechenden Vorrichtungen, Flüssigkristallpolymerschichten, gestreckten Polymerretarderfilmen oder kristallinen Retardern aufgebaut sein. Gestreckte Polymerretarderfilme sind mit beliebigen Retardierungen (0–2,000 nm) verfügbar, unter Verwendung verschiedener Materialien, die einmalige doppelbrechende Steuereigenschaften aufweisen. Große Folien können zu niedrigen Kosten eingekauft werden, was Filter mit großer, klarer Apertur ermöglicht. Die Eigenschaften von z-gestreckten Polymeren (Nitto NRZ) erlauben große Betrachtungswinkel mit kleinen Retardierungsverschiebungen. Mehrere andere Polymere sind zur Herstellung von Filtern nützlich, einschließlich, aber ohne darauf beschränkt zu sein, Polyvinylalkohol, Polycarbonat, Mylar, Polypropylen, Polystyrol, Triacetat (Tributyl-acetat) und Polymethylmethacrylat.

**[0076]** Flüssigkristall-Polymerschichten, vor allem UV-vernetzbare nematische lineare Polymerretarder, sind zur Formung von Retarderstapeln besonders geeignet. Ein attraktives Merkmal ist die Fähigkeit, Retarder höherer Ordnung herzustellen, da das Material eine sehr hohe Doppelbrechung aufweisen kann. Dies kann die Fertigung von Mehrschichtstapeln auf einem Einzelsubstrat zu sehr geringen Kosten erlauben. Flüssigkristallpolymere sind besonders gut geeignet, um Retarderstapel herzustellen, die zwei oder mehr Retarder enthalten. Um Flüssigkristallpolymerschichten herzustellen, wird zuerst eine Ausrichtungsschicht auf das Substrat aufgetragen und dann mit polarisiertem Licht fotopolymerisiert. Die Orientierung des polarisierten Lichts legt die Orientierung der Ausrichtungsschicht und der danach aufgetragenen Flüssigkristallpolymerschicht fest. Da die Polarisation des fotopolymerisierenden Lichts leicht zu steuern ist, können Flüssigkristallpolymer-Retarderstapel mit kontrollierter Ausrichtung jedes Retarders im Stapel hergestellt werden. Dies ist für schräge relative Orientierungen besonders vorteilhaft, d. h. anderen relativen Orientierungen als  $0^\circ$  oder  $90^\circ$ , bei denen die Ausrichtung der Retarder schwieriger ist.

**[0077]** Konventionelle kristalline Retardermaterialien wie z. B. Quarz, Glimmer und Kalkspat, sind für Anwendungen geeignet, die eine höhere Auflösung erfordern, als dies mit Polymerschichten möglich ist. Sie sind auch für Anwendungen nützlich, die eine geringe Wellenfrontverzerrung und/oder ein hohes Leistungsvermögen erfordern. Sie sind nicht teurer als Polymerretarder und eignen sich für große Flächen, vor allem, wenn geringe Retardierungen benötigt werden.

**[0078]** Mithilfe der Kugelanalyse nach Poincaré wurden geeignete Orientierungen für die Retarder für den Fall berechnet, dass der Modulator isotropische Zustände aufweist, die Linearpolarisationen  $0^\circ$  oder  $90^\circ$  sind, und die Modulationszustände, die bei  $\pm 45^\circ$  linear polarisiert werden (z. B. Zero-Twist-Nematic, ZTN). Wenn alle Retarder die gleiche Retardierung aufweisen, stehen die Orientierungen wie folgt miteinander in Beziehung:

$$\alpha_N - \alpha_{N-1} + \dots + \alpha_2 - \alpha_1 = \pi/8 + \pi m/4 \quad \text{Gleichung 1}$$

wobei  $m$  eine Ganzzahl ist. Wenn zum Beispiel ein Retarder vorhanden ist, kann er für  $m = 0, 1, 2, \dots$  bei  $\pi/8, 3\pi/8, 5\pi/8$ , orientiert sein. Bei zwei Retardern kann  $\alpha_2$  bestimmt werden, sobald  $\alpha_1$  gewählt wurde. Für  $\alpha_1 = \pi/16$  zum Beispiel ergibt Gleichung 1  $\alpha_2 = 3\pi/16 + \pi m/4$ , was  $3\pi/16$  für  $m = 0$  entspricht. Die Orientierungen können auf entsprechende Weise für mehr als zwei Retarder bestimmt werden. Die Analyse nach Poincaré kann auch benutzt werden, um Retarderorientierungen für isotropische und Modulationspolarisationen zu bestimmen, die anders gewählt wurden.

**[0079]** Die Kombination des Polarisationsmodulators **60** mit dem Polarisationsanalysator **70** ergibt ein Filter, welches das erste Spektrum intensitätsmoduliert, das eine Ausgabe hat, die in [Fig. 1](#) mit  $F\%$  angegeben wird, das aber eine konstante Ausgabe für das Spektrum  $F_-$  hat. Je nach Analysator wird die Ausgabe von  $F$  irgendwo zwischen 0 und 100% festgelegt. Der Polarisationsanalysator kann ein zweiter Retarderstapel in Verbindung mit einem Polarisator sein. Ein zweiter Retarderstapel ist nicht erforderlich, wenn der Analyse-Polarisator isotropisch zum Spektrum  $F_-$  ist. Daher können farbige Linear- oder Zirkularpolarisationsfilter als Polarisationsanalysator verwendet werden.

**[0080]** Ein Filter, bei dem der Polarisationsanalysator einen zweiten Retarderstapel einschließt, wird in [Fig. 2](#) gezeigt. Es besteht aus dem Modulator **10**, der zwischen dem ersten Retarderstapel **20** und dem zweiten Re-

tarderstapel **30** liegt. Der Modulator ändert die scheinbare Orientierung des zweiten Stapels derart, dass in einem Schaltzustand des Modulators die zwei Stapel bei der Filterung des Spektrums des Eingangslichts zusammenwirken, und in einem anderen Schaltzustand die Retarder im Wesentlichen verschwinden, was ein ungefiltertes oder weißes Ausgangsspektrum zur Folge hat ([Fig. 2a](#)).

**[0081]** Das Filter umfasst einen Eingangspolarisator **40** und einen Analysepolarisator **50**, die neutrale Polarisatoren sein können. Die Orientierungswinkel werden in Bezug auf die Polarisation des Eingangslichts definiert, die in diesem Fall durch den Polarisator **40** definiert wird. Wenn die Lichtquelle polarisiertes Licht abgibt, ist kein Eingangspolarisator erforderlich. Das Filter kann mit einer separaten Polarisationsvorrichtung gekoppelt sein, die als Analyse-Polarisator dient. In dieser Ausführungsform ist das Filter mit Linearpolarisatoren dargestellt. Die Polarisatoren können allgemein linear, zirkular oder elliptisch sein. Geeignete Polarisatoren schließen absorbierende, dichroitische, farbstoffbasierende, nicht absorbierende, polarisierende dielektrische Schichten, polarisierende Strahlteiler, Kalkspat-, Quarz-, streuende, prismatische, cholesterinische und gestapelte cholesterinische Polarisatoren ein. Der Polarisator kann zusätzliche Polarisationskonditionierungselemente wie z. B. Viertelwellenretarder einschließen, um zwischen Linear- und Zirkularpolarisation umzuwandeln.

**[0082]** Das Filter wird mit einem Zero-Twist-Nematic-Modulator gezeigt, der zwischen (a) Halbwellenretardierung und (b) Nullretardierung umgeschaltet wird. Retarder sind durch Kästen dargestellt, wobei oben die Retardierung angegeben ist und unten die Orientierung in Bezug auf die Eingangspolarisation in Grad. Die Retarder weisen die spezifizierte Retardierung bei einer Auslegungswellenlänge auf, die typischerweise innerhalb des Betriebsbereichs des Filters liegt und die angepasst werden kann, um die Filterleistung zu optimieren. Alle hierin genannten Orientierungen sind annähernd und können um mehrere Grad reguliert werden, um die Filterausgabe anzupassen.

**[0083]** Im Filter von [Fig. 2](#) ist der Modulator **10** ein bei  $0^\circ$  orientiertes elektrooptisches Zero-Twist-Nematic-Flüssigkristall mit einer Retardierung, die zwischen  $\lambda/2$ , wenn kein Feld angelegt wird („aus“), und idealerweise null variiert, wenn das volle Feld „an“ angelegt wird. Bei diesem Modulator sind die isotropischen Zustände Linearpolarisationen von  $0$  oder  $90^\circ$ , und die Modulationszustände sind bei mehr oder weniger  $45^\circ$  linear polarisiert. In dieser Ausführungsform ist der Modulator eine Flüssigkristallanzeige (LCD), wobei der Begriff LCD für jede Flüssigkristallvorrichtung benutzt wird, das eine Flüssigkristallzelle mit einem oder mehr Pixeln enthält. Die LCD ist typischerweise ein Mehrfachpixelarray von Flüssigkristallzellen, wobei jedes Pixel auf unabhängige Weise gesteuert werden kann.

**[0084]** Die Filter können mit einer Mehrfachpixel-LCD oder mit einem ungepixelten elektrooptischen Modulator implementiert werden. Die Retardierungen eines Einzelpixels einer LCD sind in [Fig. 2](#) angegeben.

**[0085]** In der dargestellten Ausführungsform fällt weißes Licht auf den Polarisator **40** ein. Bei Filtern, die ausgelegt sind, um außerhalb des sichtbaren Spektrums zu wirken, ist das „weiße“ Licht die Gesamtheit der Eingangswellenlängen des Lichts, zum Beispiel würde es im Infrarot-Wellenlangenmultiplexverfahren der Gesamtheit der Infrarotkanalwellenlängen entsprechen. Das weiße Licht kann als aus einem ersten Spektrum mit der Bezeichnung  $F$  und einem zweiten, Komplementärspektrum mit der Bezeichnung  $F_-$  bestehend betrachtet werden.

**[0086]** Die Retarder im Stapel **20** weisen solche Retardierungen und Orientierungen auf, dass das Spektrum  $F$  im Modulationszustand von  $45^\circ$  Linearpolarisation ausgegeben oder durchgelassen wird und das Spektrum  $F_-$  im isotropischen Zustand von  $0^\circ$  Linearpolarisation ausgegeben oder durchgelassen wird. In einem ersten Schaltzustand ([Fig. 2a](#)) weist der Modulator idealerweise eine Retardierung  $\lambda/2$  auf, wodurch die Polarisation des Spektrums, das den Modulationszustand sieht, auf  $-45^\circ$  geschaltet wird. Der isotropische Zustand bleibt unverändert. In einem zweiten Schaltzustand ([Fig. 2b](#)) weist der Modulator null Retardierung auf und die Polarisation des Lichts, das vom Polarisator ausgegeben wird, ist sowohl beim Modulations- als auch beim isotropischen Zustand unverändert.

**[0087]** Auf den Modulator folgt ein zweiter Retarderstapel. Wenn der Modulator im ersten Schaltzustand ist, macht der zweite Stapel die Umwandlung des ersten Stapels rückgängig, wodurch sowohl  $F$  als auch  $F_-$  bei  $0^\circ$  linear polarisiert durchgelassen werden. Der Polarisator **50** lässt beide Spektren durch, und die Filterausgabe ist weißes Licht. Im zweiten Schaltzustand ergänzt der zweite Stapel die Umwandlung, die  $F$  und  $F_-$  orthogonal polarisiert. Der Polarisator **50** sperrt das Licht mit dem Spektrum  $F$ , und die Ausgabe ist gefiltertes Licht mit dem Spektrum  $F_-$ . Wenn der Polarisator **50** bei  $90^\circ$  orientiert wäre, würde das Filter zwischen Schwarz und dem Spektrum  $F$ , den Komplementen von Weiß und  $F_-$  umschalten. Da die Ausgabe im zweiten Zustand ge-

filtert wird, wobei der Modulator nicht „gesehen“ wird, wird das Filter normalerweise gefiltert (NF) genannt. Ein Filter, welches das gesamte Spektrum durchlässt (oder sperrt), wenn die LCD entfernt ist, wird normalerweise weiß (NW) genannt. Allgemein wird der Normalzustand in der Bezeichnung eines Primärfarbe/Weiß- oder Weiß/Primärfarbe-Filters zuerst genannt, der Ausdruck Weiß/Primärfarbe wird aber generisch für beide benutzt.

**[0088]** In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Filter ein Farbfilter und die Spektren F und F\_ entsprechen einer additiven Primärfarbe (Rot, Grün oder Blau) und der komplementären subtraktiven Primärfarbe (Cyan, Magenta oder Gelb). Entweder das F- oder das F\_-Spektrum kann die additiven Primärfarbe sein. Im sichtbaren Bereich ist das Filter daher ein Primärfarbe/Weiß-Filter bei parallelen Polarisatoren oder ein Primärfarbe/Schwarz-Filter bei gekreuzten Polarisatoren. Das Filter wird hierin allgemein für den Fall der Farbfilterung beschrieben, doch allgemein kann es als ein Weiß/gefiltert-Schalter verwendet werden, wobei das gefilterte Spektrum nicht auf ein Primärfarbspektrum beschränkt ist. Das Filter ist vielmehr nach dem Spektrum benannt, das von ihm durchgelassen wird, als nach dem Spektrum, welches es moduliert. Demnach ist das Filter von **Fig. 2** ein F\_-W-Filter, auch wenn es das F-Spektrum ist, das zum Beispiel von einem elektrooptischen Modulator moduliert wird.

**[0089]** Polymere sind chemische Verbindungen oder Mischungen aus Verbindungen, die aus sich wiederholenden Struktureinheiten bestehen, durch eine chemische Reaktion geformt werden, bei der zwei oder mehr kleine Moleküle sich verbinden, um größere Moleküle zu ergeben.

**[0090]** Flüssigkristallpolymere (LCP) sind Polymerklassen, wobei Flüssigkristallmomomere entlang der Hauptkette (Kettenrückgrat) oder als Nebenketteneinheiten in die Makromolekularstruktur integriert werden.

**[0091]** LCPs können durch mechanisch geriebene Flächen, Scherung, oder, wie sich vor kurzem erwiesen hat, mit optischen Mitteln ausgerichtet werden. Optische Verfahren umfassen zuerst das Aufbringen von linear fotopolymerisierbaren (LPP)-Schichten oder Farbstoffen auf Azobasis auf eine Polymerausrichtungsschicht. Im ersten Fall (siehe Schadt et al., Jpn. Appl. Phys. Vol. 34, SS. 3240–3249, 1995) werden die LPP-Materialien auf ein Substrat aufgetragen und dann bei erhöhter Temperatur ausgehärtet. Die ausgehärtete Schicht wird dann polarisiertem UV-Licht ausgesetzt. Die LCPs werden dann auf das gleiche Substrat aufgeschleudert oder aufgetragen und richten sich mit der Orientierung des LPP-Films aus. Die LCPs werden dann verkettet, indem sie unpolarisiertem UV-Licht ausgesetzt werden. Im letzteren Fall (Shannon et al., Nature, vol. 368, SS. 532–533, 1994) wurden Azofarbemoleküle in die Polymid-Ausrichtungsschicht (oder Schichten) eingefügt, die auf verschiedenen Substraten (einschließlich Glas, Silizium und andere) aufgetragen werden. Ein flüssigkristallines Monomer oder Polymer wird entweder auf ein Substrat aufgetragen oder zwischen zwei Substraten eingeklemmt. Der LC-Molekulardirektor orientiert sich rechtwinklig zur Richtung des polarisierten UV-Lichts, das die Ausrichtungsschicht zuvor beleuchtet hat. Durch eine nachfolgende Belichtung werden die Flüssigkristalle neu orientiert, was für einige Anwendungen nachteilig sein kann.

**[0092]** **Fig. 2** veranschaulicht die zwei äußersten Schaltzustände des Modulators. Wenn das LCD-Pixel eine andere Retardierung als 0 oder  $\lambda/2$  hat, behält das F\_-Spektrum dennoch die  $0^\circ$ -Polarisationsorientierung bei und wird voll durchgelassen. Licht im F-Spektrum wird aber in eine elliptische Polarisation mit einer Projektion im  $0^\circ$ -Polarisationszustand zwischen 0% (**Fig. 2b**) und 100% (**Fig. 2a**) umwandelt. Die analoge Steuerung der Modulatorspannung gewährleistet daher die analoge Modulation des F-Spektrums.

**[0093]** Ein farbselektives Polarisationsfilter (CSP-Filter), zum Beispiel ein pleochroischer Farbpolarisator für den Analyse-Polarisator, wird in **Fig. 3** dargestellt. Die Lichtausbreitung wird durch Pfeile angezeigt, deren Farbe oben und deren Orientierung unten angegeben ist. In der spezifischen Ausführungsform, die gezeigt wird, bereitet der Retarderstapel **20** blaues Licht mit  $0^\circ$  und gelbes Licht mit  $45^\circ$  vor. Der elektrooptische Modulator **10** ist ein ZTN mit einer Orientierung von  $45^\circ$ , bei dem eine Linearpolarisation von  $0^\circ$  moduliert ist und eine Linearpolarisation von  $45^\circ$  isotropisch ist. Der Analyse-Polarisator **80** ist ein gelbes CSP-Filter mit einer Orientierung von  $90^\circ$ , der bei  $0^\circ$  gelbes Licht bei  $90^\circ$  und alle Wellenlängen durchlässt. Wenn der ZTN null Retardierung aufweist (**Fig. 3b**), bleibt das blaue Licht bei  $0^\circ$  und wird vom CSP durchgelassen. Bei dazwischen liegenden Retardierungen variiert die Blaudurchlässigkeit zwischen 0 und 100%.

**[0094]** Ein Filter, das einen Zirkurfarbpolarisator aufweist, in diesem Fall ein cholesterinisches Flüssigkristall (CLC) oder CLC-Polymer, wird in **Fig. 4** gezeigt. Der Retarderstapel **20** lässt bei  $45^\circ$  blaues Licht und bei  $0^\circ$  gelbes Licht durch. Der elektrooptische Modulator **10** ist ein ZTN mit einer Orientierung von  $0^\circ$  und einer Retardierung, die zwischen  $3\lambda/4$  (**Fig. 4a**) und  $\lambda/4$  (**Fig. 4b**) umschaltbar ist. Für das blaue Licht bei  $45^\circ$  wird die Polarisation daher zwischen linksdrehenden und rechtsdrehenden Zirkularpolarisationen umgeschaltet. Bei

dazwischen liegenden Retardierungen werden dazwischen liegende elliptische Polarisationen erzeugt. Die Komponente **90** ist ein rechtsdrehendes blaues CLC, das rechtsdrehendes blaues Licht reflektiert, linksdrehendes blaues Licht durchlässt und andere Wellenlängen ungeachtet ihrer Polarisation durchlässt. Da das CLC die nicht durchgelassene Polarisation reflektiert statt sie zu absorbieren, ergibt dieses Filter sowohl im Durchlass- auch als im Reflexionsmodus eine variable Blauausgabe.

**[0095]** Der Rest der Beschreibung betrifft hauptsächlich die zwei Retarderstapel-Filter, auch wenn vieles davon auf jeden Polarisationsanalysator ausgeweitet werden kann. Damit der zweite Stapel die Umwandlung des ersten Staps rückgängig macht, stehen die Retarder der zwei Stapel wie in [Fig. 5](#) für ein normalerweise weißes Filter und in [Fig. 6](#) für ein normalerweise gefiltertes Filter miteinander in Beziehung. In beiden Zeichnungen wird der Modulator **10** in dem Schaltzustand gezeigt, in dem er nicht zu sehen ist, sodass er die normale Durchlässigkeit des Filters veranschaulicht. Der erste Stapel weist Retarder **21**, **22** und **23** mit Retardierungen  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2 \dots \Gamma_N$  und Orientierungen  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  und  $\alpha_N$  auf. Bei gleichen Retardierungen weisen die Orientierungen Gleichung 1 entsprechende Beziehungen auf. Der zweite Stapel enthält Retarder **33a**, **b**, **32a**, **b** und **31a**, **b** mit denselben Retardierungen wie der erste Stapel, aber in umgekehrter Reihenfolge. Die Retarder des zweiten Staps sind in Bezug auf den ersten Stapel in Orientierungen von  $90 + \alpha_N$  bei NW und  $90 - \alpha_N$  bei NF gedreht. In der NF-Konfiguration sind die Jones-Matrizen für den ersten und zweiten Stapel invers zueinander.

**[0096]** Wenn der Modulator **10** auf Halbwellenretardierung geschaltet ist, gibt die normalerweise weiße (NW)-Struktur ein gefiltertes Spektrum aus, und die normalerweise gefilterte (NF)-Struktur gibt ein weißes Spektrum aus. Wenn die LCD völlig achromatisch wäre, würde das Filter von [Fig. 5](#) im geschalteten Zustand das gleiche Spektrum wie das Filter von [Fig. 6](#) erzeugen, und umgekehrt. Der Hauptunterschied zwischen der NW- und NF-Konfigurationen ist das Ergebnis der chromatischen Wirkung der LCD. In der NW-Konfiguration ist der weiße Zustand ideal, die Chromatizität der LCD kann aber den Farbkontrast des gefilterten Zustands verschlechtern. Bei den NW subtraktiven Weiß/Primärfarbe-Filtern (Weiß/Cyan, Weiß/Magenta oder Weiß/Gelb) braucht die LCD nur über die Bandbreite der modulierten additiven Primärfarbe (Rot, Gelb oder Blau) hinweg achromatisch zu sein. Umgekehrt ergeben NW-Designs für Weiß/Rot-, Weiß/Grün- oder Weiß/Blau-Filter beste Ergebnisse, wenn die LCD über die Bandbreite der modulierten subtraktiven Primärfarbe hinweg achromatisch ist. Die LCD ist bevorzugt für das Umschalten des modulierten Bands optimiert, zum Beispiel, indem die LCD eine Auslegungswellenlänge aufweist, die innerhalb des modulierten Bands liegt. Dies ist bei normalerweise weißen Weiß/Grün-Filtern, bei denen der modulierte Bereich die subtraktive Primärfarbe Magenta ist, die sowohl den Rot- als auch den Blau-Bereich enthält. besonders schwierig

**[0097]** In normalerweise gefilterten (NF)-Konfigurationen kann der weiße Zustand unter der Chromatizität leiden. Da aber ungeachtet der LCD-Retardierung stets mindestens ein additiver Primärbereich durchgelassen wird, kann die LCD-Retardierung gewählt werden, um das modulierte subtraktive Primärbereich auf optimale Weise durchzulassen. Die Chromatizität im weißen Zustand ist weniger schädlich als im gefilterten Zustand, da der resultierende Durchsatzverlust im weißen Zustand die Farbqualität weniger beeinträchtigt als ein Leck im gefilterten Zustand. Daher kann ein Grün/Weiß-Filter von der Chromatizität her besser sein als ein Weiß/Grün-Filter.

**[0098]** Brauchbare Stapeldesigns können von Filterdesigns wie Solc- oder Split-Element-Filtern ausgehend erzeugt werden, die Strukturen aufweisen, die den Anforderungen natürlicherweise entsprechen. Alternativ dazu können Filterdesigns mit nutzbaren Durchlassspektren zum Beispiel mit der Netzwerksynthesetechnik generiert (siehe Harris et al. (1964), J. Opt. Soc. Am. 54:1267; Ammann et al. (1966), J. Opt. Soc. Am. 56:1746; Ammann (1966), J. Opt. Soc. Am. 56:943; und US-Patentanmeldung 08/447.522 vom 23. Mai 1995) und dann auf die Teilmenge hin durchsiebt werden, die die Designanforderungen erfüllt. Ein dritter Ansatz ist, auf systematische Weise alle Designs zu bewerten, die die Designanforderungen erfüllen, um die, die brauchbare Spektralprofile aufweisen, zu ermitteln.

**[0099]** Dieser dritte Ansatz wird in [Fig. 7](#) veranschaulicht. Die gezeigten Filter halten die NF-Designanforderungen von [Fig. 6](#) ein. Die LCD-Modulatoren sind zwischen zwei Retardierungen umschaltbar; beide sind angegeben und durch ein Komma getrennt. Bei analogen Modulatoren ist die Retardierung kontinuierlich zwischen diesen Extremwerten abstimmbare. [Fig. 7a](#) zeigt das einfachste Filterdesign mit nur einem Retarder in jedem Stapel **20** und **30** und insgesamt zwei Retardern. [Fig. 7b](#)–d zeigen Designs, die jeweils insgesamt vier Retarder aufweisen. Der Sonderfall, wo  $\alpha_2 = 45^\circ$ , entspricht im Normalzustand einem Filter mit drei Retardern, die einen Center-Retarder mit der Retardierung  $2\Gamma_N$  und der Orientierung  $45^\circ$  aufweist.

**[0100]** In den dargestellten Filtern weisen die Retarder im jedem Stapel entweder gleiche Retardierungen oder Retardierungen auf, die sich um einen Faktor zwei unterscheiden, wodurch sie echte Impulsantwortfunk-

tionen gewährleisten. Dies ist keine Anforderung, die Retarder können beziehungslos sein, was komplexe Impulsantwortfunktionen zur Folge hat. Gleiche Retardierungen können die Herstellung vereinfachen. Diese Beispiele stellen keineswegs einen kompletten Satz brauchbarer Designs dar. Sie zeigen nur eine Gruppe von Strukturen, die nutzbare Filter im additiven oder subtraktiven Primärfarbbändern ergeben.

**[0101]** Filterdesigns auf der Basis von [Fig. 7](#) wurden erzeugt, indem Werte von  $\alpha_1$  (5, 10, 15, 20 ...) durchinkrementiert wurden und für jeden Wert von  $\alpha_1$  Werte von  $\alpha_2$  durchinkrementiert wurden. Das Durchlassspektrum jedes Filters wurde berechnet und die Nutzspektren wurden identifiziert. Die Spektren können mithilfe von Müller- oder Jones-Matrizen berechnet werden. Bevorzugte Spektren für Anzeigeanwendungen haben eine relative Einschaltzeit, die dem gewünschten Spektrum entspricht, und weisen ein rechteckiges Profil auf. Bevorzugt weist das Filter einen scharfen Übergang mit einem relativ flachen Durchlassband und einem relativ flachen Sperrband auf. Relativ flache Bänder können erreicht werden, indem eine Reihe von verteilten Hochkontrastnulldurchflüssen/-spitzen im Spektrum vorgesehen werden. Nahezu ideale Durchlassspektren können erzeugt werden, indem die Zahl der Retarder erhöht wird. In der Praxis müssen akzeptable Übergänge und Nebenzipfelamplituden/-stellen auf wohlüberlegte Weise gewählt werden, um die Sättigung mit einer begrenzten Anzahl von Komponenten zu optimieren.

**[0102]** Die Filterauflösung muss niedrig genug sein, um das Durchlassmaximum durch den Primärbereich hindurch zu unterstützen. Von einem Sättigungsstandpunkt her muss die Durchlassauflösung hoch genug sein, um nur den gewünschten Primärbereich durchzulassen. Designs, die eine ausreichend niedrige Auflösung zusammen mit steifen Übergängen (oder Mehrfachspitzen im Durchlassbereich) erzeugen, werden bevorzugt.

**[0103]** Einige der nutzbaren Designs werden in Tabelle I gezeigt. Die Retarder für beide Stapel sind in der Tabelle aufgelistet, wie sie im normalen Schaltzustand erscheinen würden, bei dem die LCD nicht gesehen wird. Die Gesamtzahl der Retarder,  $M$ , ist angeführt. Es ist anzumerken, dass die Orientierungen bei gleichen Retardierungen Gleichung 1 entsprechen. Geeignete Designs, die durch schrittweises Durchgehen von  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  erhalten werden, können durch Feinabstimmung der Winkel verbessert werden. Wenn das Basisdesign einmal identifiziert worden ist, kann die Retardierung  $\Gamma$  gewählt werden, um die gewünschte subtraktive oder additive Primärfarbenmodulation zu erzeugen.

**[0104]** Fan-Şolc-Filter sind eine Familie von Strukturen, die den Designanforderungen von [Fig. 6](#) entsprechen. Diese Entsprechung ist zufällig und keineswegs ein beabsichtigtes Merkmal des Şolc-Designs. Şolc-Filter werden in der US-Patentschrift Nr. 5.469.279 und der US-Patentanmeldung Nr. 08661498 vom 11. Juni 1996 beschrieben, die hierin durch Bezugnahme in ihrer Gesamtheit aufgenommen werden. Ein Şolc-Filter erfordert eine Reihe von gleichdicken Retardern, die Vollwellen- oder Halbwellenretarder jeweils mit der Auslegerwellenlänge für fächerartige und gefaltete Designs sind. Bei fächerartigen Şolc-Filtern weisen die Retarder Orientierungen von  $\alpha, 3\alpha, 5\alpha, \dots$  (d. h.  $\alpha_N = (2N - 1)\alpha_1$ ) auf. Bei gefalteten Şolc-Filtern weisen die Retarder Orientierungen in alternierend gekippten Winkeln von  $\alpha, -\alpha, \alpha, \dots$  (d. h.  $\alpha_N = (-1)^{N+1}\alpha_1$ ) auf.

**[0105]** Tabelle II zeigt Şolc-Designs, die diesen Anforderungen entsprechen. Es ist anzumerken, dass das fächerartige Şolc-Design den Anforderungen von [Fig. 6](#) zufällig entspricht. Wenn  $M$  ungerade ist, weist der Center-Retarder in einem fächerartigen Şolc-Design eine Orientierung von  $45^\circ$  auf, bei welcher der Winkel  $\alpha = 90^\circ - \alpha$  ist. Dadurch wird der Center-Retarder einfach halbiert, und in jedem Retarderstapel ist eine Hälfte enthalten. Die Gesamtzahl der Retarder  $M$  ist für Fälle, in denen die zwei Center-Retarder einem einzigen Retarder entsprechen, in Anführungszeichen angegeben, wie „3“ oder „5“. Die Retarderorientierung ist von der Gesamtzahl der Retarder abhängig, wobei  $\alpha = \pi/4M$ .

**[0106]** Im Fall des fächerartigen Şolc-Filters erfüllt das Filter natürlicherweise die Kriterien des Weiß/Primärfarbe-Filters der vorliegenden Erfindung. Das gefaltete Şolc-Filter andererseits erfüllt diese Kriterien nicht. Die Retardierungen erfüllen zwar die Anforderungen, die Orientierungen halten aber  $\alpha_N = 90^\circ \pm \alpha$  nicht ein. Das gefaltete Şolc-Design kann zu einem quasi gefalteten Şolc-Design modifiziert werden, das die Kriterien nicht erfüllt, wie in Tabelle III gezeigt. Der Ausdruck quasi gefaltetes Şolc-Design wird für alle Designs benutzt, in denen die Retarder alle die gleiche Retardierung haben und in denen sie innerhalb jedes Stapels alle etwa im gleichen Winkel orientiert sind, aber mit alternierendem Vorzeichen.

**[0107]** In einem klassischen gefalteten Şolc-Filter, ebenso wie im fächerartigen Filter, ist  $\alpha = \pi/4M$ . Zum Beispiel erfordert ein klassischer gefalteter Şolc-Filter mit  $N = 6$  Retardern  $\alpha = 8^\circ$ . Beim quasi gefalteten Şolc-Filter gibt es hinsichtlich des Winkels  $\alpha$  keine Beschränkungen. Wie in Tabelle III gezeigt, kann er wesentlich variiert werden, wobei er dennoch eine nutzbare Spektralcharakteristik erzeugt. Die Tabellen I–III zeigen NF-Designs.

Um NW-Designs zu erhalten, wird das Vorzeichen des Winkels für jeden Retarder im zweiten Stapel umgekehrt.

**[0108]** Wie das Solc-Filter erfüllt das Split-Element-Filter die Anforderungen von [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) auf natürliche Weise. Ein Split-Element-Filter, das für die Farbanzeige geeignet ist, wird in der US-Patentschrift Nr. 5.528.393 beschrieben, die hierin durch Bezugnahme in ihrer Gesamtheit aufgenommen wird. Es umfasst erste und zweite Split-Element-Retarder mit angepasster Retardierung, die eine Orientierung von  $\pm 45^\circ$  in Bezug auf die Eingangspolarisation aufweisen, und einen Center-Retarder mit einer Orientierung von  $0^\circ$ . Bei parallelen Split-Elementen ist das Filter NF, und bei gekreuzten Split-Elementen ist das Filter NW.

**[0109]** Um ein erfindungsgemäßes Weiß/Primärfarbe-Filter zu ergeben, formen die Split-Element-Retarder die Stapel, und der Center-Retarder kann zwischen der LCD und einem der Split-Element-Retarder angeordnet werden. In diesem asymmetrischen Fall sind die Retarder auf beiden Seiten der LCD nicht angepasst, doch die Stapel können jeder als einen Einzelretarder enthaltend betrachtet werden, den Split-Element-Retarder, und der Center-Retarder kann als zusätzliches Element betrachtet werden, das in keinem Stapel enthalten ist. Da der Center-Retarder parallel oder rechtwinklig zum elektrooptischen Modulator orientiert ist, verhindert der Mangel an Symmetrie nicht das Erreichen eines weißen Schaltzustands. Die erwähnte Ausführungsform wird in Tabelle IV gezeigt. In der Tabelle ist der Center-Retarder zusammen mit dem Retarder von Stapel 1 aufgelistet. Bei den gezeigten Retardierungen nähert sich die Filterdurchlässigkeit einem zweistufigen Lyot-Filter an. Aufgrund der Viertelwellenretardierung, die zu jedem Split-Element-Retarder hinzugefügt wird, gehört das Design der Gruppe der Filter mit komplexer Impulsantwort an.

**[0110]** Bei allen Designs, die oben beschrieben wurden, können, wenn die Orientierungen für das optimale Profil einmal gewählt worden sind, die Retardierungen gewählt werden, um die optimale Farbsättigung in jeder Primärfarbe zu gewährleisten. Die Designparameter können mit Standard-Müller-Matrix-Techniken analysiert werden, die eine Streuungsanpassung an spezifische Retardermaterialien einschließen. Die Kriterien zur Bewertung von Filterdesigns basieren auf der Sättigung, dem Farbton und dem Durchsatz. Die Sättigung und der Farbton können mit dem CIE-Chromatizitätsdiagramm bewertet werden. Die Qualität der Farbe, die durch eine bestimmte Filterausgabe erzeugt wird, kann durch Berechnung einer Reihe von Überlappungsintegralen gekennzeichnet werden, die die Durchlassfunktion für einen spezifischen Filterzustand, das Leistungsspektrum der Quelle und die CIE-Farbabgleichsfunktionen einschließen.

**[0111]** Gesättigte Primärfarben werden erzeugt, indem das Verhältnis zwischen der Leistung der Quelle, die im gewünschten Primärfarbband durchgelassen wird, und der, die außerhalb des Primärfarbbands durchgelassen wird, maximiert wird. Das Filterdesign kann an die Eigenschaften der Quelle angepasst werden, um die Optimierung spezifisch zu machen. Zum Beispiel stellen echte Weißquellen, wie z. B. ein schwarzer Körper mit 6000 K, höhere Anforderungen an die Filterleistung als verteilte Quellen wie z. B. ein CRT-Phosphor. Die Spektralpositionen der Nullen im Sperrband hängt von der Retardierung der Komponenten ab. Es ist vorteilhaft, an Außerband-Leistungsspektrumsmaxima der Lichtquelle Nullen anzutragen. Dementsprechend ist es vorteilhaft, Nebenzipfelmaxima weit entfernt von Leistungsspektrumsmaxima anzutragen. Passive Filter können eingefügt werden, um Bänder auszuschließen, die außerhalb der Primärfarbbänder liegen, um die Sättigung zu erhöhen.

**[0112]** Gemessene Spektren der Weiß/Primärfarbe-Filter werden in [Fig. 8](#)–[Fig. 11](#) gezeigt. Die Filterstrukturen sind in Tabelle V angegeben. Die Schalter verwenden eine 3TN-Zelle mit einer unerregten Halbwellenretardierungszentrumswellenlänge, wie in der Tabelle angegeben. Die Polarisatoren sind Nitto-Denko EG1425 mit nur einer Hartschicht. Die Durchlässigkeit weist deshalb zwei Fresnell-Verluste auf. Die Retarder sind jeweils NRZ-Retarder, die die in der Tabelle genannten Auslegungsretardierung haben. Bei den NW-Designs sind die Verluste im weißen Zustand mit den Polarisatoren, die Absorption durch ITO-Elektroden auf der LCD, externe Reflexionen und jede LC-Restretardierung verbunden. Die Letztere ist typischerweise etwa 20 nm. Die Spektren wurden mit einem optischen Spektrumanalysator von ANDO abgetastet, der durch das Lichtquellspektrum mit parallelen Glan-Thompson-Polarisatoren automatisch normalisiert wird.

**[0113]** Die Auslegungswellenlängen der passiven und LCD-Retarder sind in Tabelle V angegeben. Sowohl bei aktiven als auch bei passiven Retardern ist die Auslegungswellenlänge die Wellenlänge, bei der die Retarder die spezifizierte Retardierung gewährleisten. Bei den passiven Retardern ist dies die Wellenlänge, bei der sie Vollwellenretarder sind, mit Ausnahme der Weiß/Magenta-Filter, bei welchen sie  $2\lambda$ -Retarder sind. Die Retarderstapel-Auslegungswellenlänge wird gewählt, um die modulierte Sperrspitze im gewünschten Farbband anzutragen. Die Auslegungswellenlänge der LCD ist die Wellenlänge, bei der die Retardierung im unerregten Zustand  $\lambda/2$  beträgt. Es ist anzumerken, dass die Auslegungswellenlänge so gewählt wird, dass sie ins Zen-

trum des modulierten Bands fällt, um den Effekt der LCD-Chromatizität zu minimieren.

**[0114]** Die Grün/Weiß, Weiß/Cyan und Weiß/Magenta-Filter sind quasi gefaltete Solc-Designs. Das Grün/Weiß-Design ist das gleiche wie das dritte Design in Tabelle III. Das Weiß/Magenta-Design ist das gleiche wie das zweite Design in Tabelle III, mit der Ausnahme, dass die Orientierungen der Retarder im zweiten Stapel umgekehrte Vorzeichen aufweisen, weil es normalerweise weiß statt normalerweise gefiltert ist. Im Weiß/Gelb-Design wurden die Orientierungen der Retarder angepasst, um die Schärfe des Übergangs zu erhöhen. Das Weiß/Gelb-Design kann als das fünfte Design in Tabelle I erkannt werden, wo die Retardierung  $\Gamma = \lambda/2$ .

**[0115]** Die hervorragenden Durchlassbanddurchlässigkeit, Sperrbandsperrungen und scharfen Übergänge der Filterspektren von [Fig. 8–Fig. 11](#) sind hervorzuheben. Die reduzierte Filterdurchlässigkeit bei Blau ist auf die Verwendung von Polarisationsfolien, die im Blaubereich Verluste haben, und nicht auf die Retarder zurückzuführen. Die Durchlässigkeit kann durch Verwendung verbesserter Polarisatoren verbessert werden.

**[0116]** Der Vorzug dieser Erfindung ist, dass die LCD keinen Mechanismus ausweist, um eine Farbverschiebung zu induzieren. Das heißt, die Übergangsbandbreiten werden vom Zustand der LCD von den Retarderstapeln unabhängig definiert. Deshalb haben Änderungen im Betrachtungswinkel (oder der LCD-Chromatizität) sehr wenig Einfluss auf die Filterdurchlässigkeit. Merkmale wie die Übergangsband-Zentrumswellenlängen, die von den Stapeln definiert werden, bleiben in dem Umfang erhalten, dass die Stapel winkelunabhängig sind. Änderungen im Betrachtungswinkel erzeugen nur einen leichten Dichteverlust in der gesperrten Farbe und keine Verschiebung in der Bandposition.

**[0117]** Dies wird anhand des Weiß/Magenta-Filters von [Fig. 10](#) belegt. Bei einem Azimutwinkel von  $0^\circ$  wird die gemessene Durchlässigkeitsänderung mit den Einfallswinkel in [Fig. 12](#) gezeigt. Bei einem Einfallswinkel in einem Bereich von bis zu  $-50^\circ$  von der Normalen ist das Spektrum bemerkenswert unverändert. Das Halbmaximum der Blau/Grün und Rot/Grün-Übergänge wird von den Stapeln festgelegt. Das Spektrum variiert mit dem Azimutwinkel sowie mit dem Einfallswinkel. Der schlechteste Azimutwinkel, der gemessen wurde, war  $90^\circ$ , wie in [Fig. 13](#) gezeigt. Die Durchlässigkeit bei einem Einfallswinkel von  $0^\circ$  ist für jeden Azimutwinkel gleich, und die gemessene Differenz zwischen [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) ist ein Artefakt der polarisationsabhängigen Kopplung der Lichtquelle über eine Lichtleitfaser. Selbst im schlechtesten Fall des Azimutwinkels von  $90^\circ$  ist die Sperrdichte hervorragend, und die Binder sind nicht verschoben. Dies ermöglicht hervorragende Farbschalter und Anzeigesysteme mit weitem Betrachtungswinkel.

**[0118]** Ein einmaliges Merkmal von subtraktiven Anzeigen auf der Basis dieser Erfindung ist die Fähigkeit, eine analoge LCD für die Graustufenregelung der Durchlässigkeit des modulierten Lichts zu benutzen, ohne die Durchlässigkeit des unmodulierten Lichts zu beeinflussen. Dies wird in [Fig. 14](#) veranschaulicht, was der experimentell gemessenen Ausgabe des Weiß/Magenta-Filters von [Fig. 10](#) ist. Die Durchlassspektren werden für verschiedene Treiberspannungen gezeigt. Das Filter ist normalerweise weiß und lässt daher im Nullretardierungszustand (10 V) alle Wellenlängen voll durch. Mit zunehmender Retardierung wird die Durchlässigkeit der modulierten Primärfarbe Grün nach und nach gesperrt, bis sie im Halbwellenretardierungszustand (0 V) minimiert ist. Das Filter legt eine unabhängige Modulation des grünen Lichts an den Tag, ohne das magentafarbene Licht zu beeinflussen.

**[0119]** Die Grauskalenmodulation wird ferner in [Fig. 15–Fig. 17](#) jeweils für Weiß/Cyan, Weiß/Magenta und Weiß/Gelb-Filter belegt, wobei die Durchlässigkeit der additiven Primärfarben Rot, Grün und Blau völlig unabhängig von den komplementären subtraktiven Primärfarben gesteuert wird. Die Designs dieser Filter sind in den ersten drei Einträgen von Tabelle VI aufgelistet. Die Retarder sind Polycarbonatschichten von Nitto Denko. Der optische Modulator ist ein Zero-Twist-Nematic-Flüssigkristall mit einer Orientierung von  $0^\circ$  und der zwischen Null- und Halbwellen( $\pi$ )-Retardierung kontinuierlich variabel ist. Der Neigungswinkel außerhalb der Ebene des nematischen Flüssigkristalls ist in den Spektren angegeben, wobei  $0^\circ$  der Halbwellenretardierung entspricht und  $75^\circ$  annähernd der Nullretardierung entspricht. Obwohl  $90^\circ$  näher an der Nullretardierung läge, ist es aufgrund des Surface-Pinning-Effekts schwer, diese Neigung zu erreichen. Ein passiver Retarder kann verwendet werden, um die Restretardierung auszugleichen.

**[0120]** Ein Magenta/Weiß-Filter wird in [Fig. 18](#) gezeigt und ist unten in Tabelle VI aufgelistet. Es ist ein Split-Element-Filter, wobei der Center-Retarder im ersten Stapel enthalten ist. In diesem Filter weist die LCD eine Orientierung von  $90^\circ$  statt  $0^\circ$  auf. Bei den anderen Filtern ist die Filterfunktion bei Retarderorientierungen von  $0^\circ$  und  $90^\circ$  gleich. Beim Split-Element-Design sind die Spektren aufgrund der Asymmetrie nicht identisch, auch wenn beide Orientierungen funktional sind. Für dieses spezielle Filter ergab die Bewertung der zwei Ori-

entierungen, dass die Orientierung von  $90^\circ$  eine bessere Ausgabe ergibt. Das Filter kann kontinuierlich zwischen den zwei in [Fig. 18](#) gezeigten extremen Schaltzuständen variiert werden. Weil dieses Filter NF ist, leidet das Weißspektrum an Chromatizität.

**[0121]** Ein einmaliges Merkmal der erfindungsgemäßen subtraktiven Filter, wie in [Fig. 15–Fig. 17](#) gezeigt, ist, dass das unmodulierte Spektrum  $F_{\perp}$  unabhängig von der spannungsgesteuerte Modulation des F-Spektrums voll durchgelassen wird. Als Ergebnis können zwei oder mehr Filterstufen in Reihe verwendet werden, wobei jede Stufe die unabhängige analoge Steuerung einer additiven Primärfarbe gewährleistet, ohne die anderen zwei zu beeinflussen. Ein einstufiges Filter hat zwei Ausgaben, eine additive oder subtraktive Primärfarbe und entweder Schwarz (gekreuzte Polarisatoren) oder Weiß (parallele Polarisatoren). Ein zweistufiges Filter kann vier Ausgaben erzeugen, drei Primärfarben (zwei additive und eine subtraktive oder eine additive und zwei subtraktive) und entweder Schwarz oder Weiß. Ein dreistufiges Filter kann acht Ausgaben erzeugen, drei additive Primärfarben, drei subtraktive Primärfarben, Schwarz und Weiß. Wenn die Modulatoren analog sind, können die Filter zusätzlich Grauskalen zwischen den Farbextremen ausgeben. In einem Mehrfachstufenfilter kann die Chromatizität reduziert werden, wie in der US-Patentanmeldung 08/758.122 vom 25. November 1996 beschrieben. Ein Mehrfachstufenfilter wird auch in der US-Patentanmeldung 08/645.580 vom 14. Mai 1996 beschrieben.

**[0122]** Die Filter können mit einem Eingangs- und Ausgangspolarisator in jeder Stufe kombiniert werden, wie in [Fig. 19](#) beschrieben. In diesem Fall ist die Filterausgabe das Produkt der Ausgaben jeder einzelnen Stufe. Die erste Stufe umfasst Retarderstapel **20a** und **30a**, die LCD **10a** und Polarisatoren **40a** und **50a**. Es sind  $n$  Stufen mit Polarisatoren zwischen jeder Stufe vorhanden, die mit der  $n$ -ten Stufe enden, die Retarderstapel **20n** und **30n**, die LCD **10n** und Polarisatoren **40n** und **50n** umfasst. Der Ausgangspolarisator jeder Stufe dient als der Eingangspolarisator für die nächste. Wenn zum Beispiel nur zwei Stufen vorhanden wären, würden **50a** und **40n** derselbe Polarisator sein.

**[0123]** Durch geeignete Wahl der Filterstufen und ihrer relativen Orientierungen ist es möglich, zwei oder mehr Stufen ohne die Notwendigkeit interner Polarisatoren zwischen den Stufen zu kombinieren, wie in [Fig. 20](#) gezeigt. Da Polarisatoren eine Quelle von Lichtverlusten sein können, können die Mehrfachstufenfilter ohne interne Polarisatoren einen signifikant erhöhten Durchsatz aufweisen, vor allem bei Reflexionsmodus-Farbschaltern und Anzeigen.

**[0124]** Das dreistufige Filter von [Fig. 20](#) weist Stufen mit unabhängig moduliertem blauen, grünen und roten Licht auf, die zwischen Polarisatoren **40** und **50** angeordnet sind. In dieser Ausführungsform moduliert die erste Stufe blaues Licht und ist daher entweder eine Weiß/Gelb oder Gelb/Weiß-Filterstufe. Die Stufe umfasst einen ersten Retarderstapel **20a**, einen zweiten Retarderstapel **30a** und die LCD **10a**. Die Retarderstapel und die LCD können jedes erfindungsgemäße Design haben. Die zweite Stufe, umfassend die Retarderstapel **20b** und **30b** und die LCD **10b**, moduliert grünes Licht und ist daher ein Weiß/Magenta oder ein Magenta/Weiß-Filter. Die dritte Stufe, umfassend die Retarderstapel **20c** und **30c** und die LCD **10c**, moduliert rotes Licht und ist daher ein Weiß/Cyan oder ein Cyan/Weiß-Filter.

**[0125]** Ein spezifisches dreistufiges Filter wird in [Fig. 21](#) veranschaulicht. Dies sind die gleichen Filterstufen wie in [Fig. 9–Fig. 11](#), doch in Reihe kombiniert und ohne interne Polarisatoren. Die Ausgangsfarben sind in Tabelle VII angegeben. Für jede Stufe bezieht sich eine Null auf den unerregten (modulierenden) LCD-Zustand, und eine Eins bezieht sich auf den erregten (isotropischen) Zustand. Wenn alle drei Stufen in ihrem modulierenden Zustand sind, sperrt die erste Blau, die zweite sperrt Grün und die dritte sperrt Rot, was zu einer schwarzen Ausgabe führt, wenn parallele Eingangs- und Ausgangspolarisatoren verwendet werden. Wenn die LCD der dritten Stufe in den isotropischen Zustand geschaltet wird, sperrt sie kein Rot mehr und die Filterausgabe ist rot. Wenn alle drei LCDs in ihren isotropischen Zustand geschaltet werden, ist die Ausgabe weiß.

**[0126]** Die weiße Ausgabe kann dreimal so hell sein wie bei räumlich multiplexierten Filtern oder Anzeigen, in denen Subpixel von Rot, Grün und Blau kombiniert werden, um Weiß zu ergeben, oder wie bei zeitlich multiplexierten Filtern oder Anzeigen, in denen die Ausgabe der Pixel zwischen Rot, Grün und Blau umschaltet, um Weiß zu ergeben. Im erfindungsgemäßen Filter kann das volle Weißspektrum ohne räumlich und zeitlich ganz durchgelassen werden.

**[0127]** Wenn die Polarisatoren gekreuzt statt parallel sind, wird allgemein das Komplementärspektrum erhalten. Zum Beispiel wird ein Cyan/Weiß-Filter mit parallelen Polarisatoren zu einem Rot/Schwarz-Filter mit gekreuzten Polarisatoren. Für den Fall, dass drei Stufen ohne interne Polarisatoren in Kaskade angeordnet werden, kann selbst mit gekreuzten Polarisatoren ein weißer Zustand erreicht werden. Da keine Farben durch in-

terne Polarisatoren gesperrt werden, ist auf der orthogonalen Achse das volle Komplementärspektrum verfügbar. Die Ausgaben der gekreuzten Polarisatoren sind in Tabelle VII enthalten. Der Zustand (000) gibt Weiß statt Schwarz an, (001) gibt Cyan statt Rot an, und so weiter.

**[0128]** Ein Vorteil eines Filters mit gekreuzten Polarisatoren ist die verbesserte Dichte des Schwarzzustands. Der Schwarzzustand wird ausgegeben, wenn alle drei LCDs in ihrem erregten, isotropischen Schaltzustand sind und daher eine minimale Chromatizität aufweisen. Es ist allgemein zu bevorzugen, einen Durchsatzverlust im weißen Zustand hinzunehmen und dafür im dunklen Zustand eine erhöhte Sperrung zu erreichen.

**[0129]** Für das Filter von [Fig. 21](#) mit gekreuzten Polarisatoren werden die additiven Primärfarbausgaben in [Fig. 22](#) und die subtraktiven Primärfarben in [Fig. 23](#) gezeigt. Hervorragende Spektren für alle sechs Primärfarben werden durch ein einziges Filter erhalten, wobei die analoge Steuerung jeder Primärfarbe verfügbar ist. Zusätzlich werden Weiß, Schwarz und Grau ausgegeben, wie in [Fig. 24](#) gezeigt. Neigungswinkel von 0 bis 75° werden veranschaulicht, was Retardierungen von  $\lambda/2$  bis etwas größer als null entspricht. Es ist hervorzuheben, dass ein hervorragender Schwarzzustand erreicht wird. Um über das ganze sichtbare Spektrum hinweg die Grauskalenmodulation zu erreichen, wie in [Fig. 24](#) gezeigt, werden die Neigungswinkel aller drei LCDs gleichzeitig variiert.

**[0130]** Die Beseitigung interner Polarisatoren kann den Schwarzzustand bei parallelen Polarisatoren verbessern, indem den Stapeln erlaubt wird, bei der Sperrung der Zwischenprimärfarbbänder zusammenzuwirken. Alternativ dazu ist mit gekreuzter Polarisierung weniger Welligkeit vorhanden. Dies ist an einer subtraktiven Anzeige oder einem Farbshutter zu sehen, der aus einem Stapel aus Cyan/Weiß, Magenta/Weiß und Gelb/Weiß-Schaltern besteht. Das Übergangsband der Gelb- und Magenta-Stufen und das der Magenta- und Cyan-Stufen überlappen sich an den Halbmaximum-Durchlässigkeitsspunkten. Die einzelnen additiven Primärfarbspektren sind in [Fig. 25a](#) dargestellt.

**[0131]** Zuerst wird der Fall mit parallelen neutralen Polarisatoren zwischen jedem Schalter betrachtet, wie in [Fig. 19](#). Weil neutrale Polarisatoren die Stufen trennen, ist der dunkle Zustand das Produkt der von jeder Stufe erzeugten Cyan, Magenta und Gelb-Spektren. Da die Spektren sich im Halbmaximum überschneiden, beträgt das Leck im Zentrum des Übergangsbands 25%, wie in [Fig. 25b](#) gezeigt. Dies kann je nach den Eigenschaften des Quellspektrums im Dunkelzustand einen signifikanten Dichteverlust darstellen. Es stellt auch einen blau/grünen Seitenzipfel der Rot-Ausgabe und einen gelben Seitenzipfel der Blau-Ausgabe dar.

**[0132]** Es gibt Lösungen, um diese Lecks zwischen Primärfarben zu reduzieren. Zum Beispiel kann die Überlappungsregion reduziert werden, indem die Farbpolarisatorspektren weiter auseinander geschoben werden. Um dies zu gewährleisten, wird zum Beispiel Grün voll durch die Gelb-Stufe gelassen und Blau voll durch die Magenta-Stufe gelassen, was oft bedeutet, dass der Übergang schärfer gemacht werden muss. Alternativ dazu kann Licht in den Zwischenprimärfarbbändern im Prinzip durch passive Sperrfilter entfernt werden. Dies stellt auch eine zusätzliche Filterung dar, mit den zugehörigen Einfügungsverlusten und Kosten. Ein noch bessere Lösung, die aber nicht oft machbar ist, ist die Verwendung einer Quelle, die einfach kein Licht in den Zwischenprimärfarbbändern abgibt.

**[0133]** Ein anderer Ansatz für das Problem besteht darin, die Polarisatoren zwischen den Stufen zu entfernen, wie in [Fig. 20](#) veranschaulicht. Ein zusätzlicher Gewinn ist die Beseitigung des Verlusts, der mit den zwei neutralen Polarisatoren einhergeht. Die Herausforderung liegt darin, ein System zu ermitteln, durch welches die Stapel zusammenwirken, um den Ausschluss der Zwischenprimärfarbbänder zu verbessern, statt das Problem zu verschlimmern. Die Lösung kann veranschaulicht werden, wenn man den Polarisationszustand des Lichts bei den Halbmaximum-Überschneidungswellenlängen zwischen den Gelb- und Magenta- oder den Magenta- und Cyan-Stufen betrachtet. Licht, das aus beiden Stapeln austritt, ist bei den Überschneidungswellenlängen allgemein zwischen den orthogonalen linearen Zuständen polarisiert. Dies stellt die Gruppe von Polarisationszuständen dar, die eine beliebige Elliptizität aufweisen, mit einer elliptischen Polarisationsausrichtung von ±45 Grad. Vorausgesetzt, dass die zwei Stapel kompatibel sind und richtig orientiert sind, können die Polarisationsumwandlungen von den zwei Stapeln kumulativ sein, wodurch die Halbmaximum-Überschneidungswellenlänge orthogonal polarisiert werden. Wenn zwei Stapel zum Beispiel bei der Halbmaximum-Überschneidungswellenlänge als Zirkularpolarisatoren wirken, kann eine kombinierte Halbwellenretardierung erreicht werden. Dies erzeugt die gewünschte Null im Übergangsband. [Fig. 25c](#) zeigt, dass das Ergebnis eine Verbesserung in der optischen Dichte gegenüber die Ausgabe von [Fig. 25b](#) mit zusätzlichen Polarisatoren darstellt. Jedes dieser Filter kann auch mit einem Shutter in Reihe kombiniert werden, um einen guten Dunkelzustand zu gewährleisten.

**[0134]** Wie oben beschrieben, ist im Mehrfachstufenfilter ohne interne Polarisatoren das volle Komplementärspektrum verfügbar, was die Verwendung von gekreuzten Polarisatoren erlaubt. Dieses Merkmal ermöglicht auch die Polarisationsdiversitätsfilterung, wie in [Fig. 26](#) gezeigt. In der Polarisationsdiversitätsfilterung werden die Eingangs- und Ausgangspolarisatoren durch Polarisationstrenner und -kombinatoren ersetzt. Auf den polarisierenden Strahlteiler **41** fällt unpolarisiertes weißes Licht ein. Eine lineare Polarisation wird durchgelassen, und die orthogonale Polarisation wird zum Prisma **42** reflektiert. Die zwei orthogonalen Polarisationszustände breiten sich unabhängig durch die Struktur aus und werden durch das Ausgangsprisma **52** und den polarisierenden Strahlteiler **51** wieder vereinigt. Für Licht in beiden Strahlenwegen tritt das modulierte Spektrum in einer Richtung aus, bei welcher die Eintritts- und Austrittspolarisationen parallel sind, und das Komplementärspektrum  $F$  des gekreuzten Polarisators tritt in der anderen Richtung aus. Im polarisationsunempfindlichen Filter wird die Gesamtheit des einfallenden Lichts gefiltert, statt die Hälfte des einfallenden Lichts durch Absorption durch einen Eingangspolarisator zu verlieren. Dies beseitigt den 3db-Verlust im Wirkungsgrad, der allgemein mit Systemen auf Polarisationsbasis verbunden ist. Das Filter mit polarisierenden Strahlteilern ist für Anwendungen mit kleiner Apertur besonders geeignet. Große Aperturen können mit Polarisationsfolien erreicht werden, die Polarisationsdiversität bieten.

**[0135]** Mehrfachstufenfilter wurden mit in Reihe angeordneten Filterstufen erprobt. Zusätzlich ist es machbar, zwischen zwei unabhängigen Spektren zu modulieren, indem Retarderstapel in einer einzelnen Stufe verschachtelt werden, wie in [Fig. 27](#) gezeigt. Dies wird durchgeführt, indem ein Stapel orientiert wird, um NW zu sein, und der andere, um NF zu sein. Stapel **20a** und **30b** in Verbindung mit der LCD **10** formen ein NW-Filter, das das Filter  $F_1$  moduliert; wodurch Weiß durchgelassen wird, wenn die LCD erregt (anisotropisch) ist, und  $F_1$ , wenn es unerregt ist. Die Stapel **20b** und **30b** in Verbindung mit der LCD **10** formen ein NF-Filter, das  $F_2$  moduliert, wodurch  $F_2$  durchgelassen wird, und Weiß, wenn es unerregt ist. Die verschachtelten Stapel lassen daher  $F_2$  durch, wenn die LCD erregt ist, und  $F_1$ , wenn sie unerregt ist. Derartige Strukturen können mit oder ohne zwischengeschaltete Polarisatoren gestapelt werden und können mit einer anderen passiven oder aktiven Filterung kombiniert werden.

**[0136]** Reflexionsmodus-Schalter können implementiert werden, indem eine Durchlassmodus-Struktur einfach mit einem Spiegel befolgt wird. Alternativ dazu können Strukturen spezifisch für den Betrieb im Reflexionsmodus ausgelegt sein. Zusätzlich zu den Designregeln, die zuvor für Weiß/Primärfarbe-Schalter beschrieben wurden, können Reflexionsmodus-Schalter zusätzliche Symmetrieanforderungen aufweisen. Es sei ein Design in Betracht gezogen, bei dem ein Einzelstapel vor einer LCD angeordnet ist. Die auseinandergefaltete Version besteht aus zwei Stapeln, wobei beide Stapel effektiv dieselbe Orientierung aufweisen. Eine Lösung, die eine neutrale Polarisationsoptik einschließt, kann verwendet werden, um eine effektiv andere Orientierung des zweiten Stapels zu erzeugen. Zum Beispiel kann ein achromatisches Viertelwellenplättchen auf dem Spiegel angeordnet sein, damit der zweite Durchgang durch den Stapel mit einer anderen Orientierung erfolgen kann. Dies verändert aber auch die Wirkung der LCD, da der zweite Durchgang durch die LCD auch mit einer anderen Orientierung erfolgt. Die zusätzliche Halbwellenretardierung invertiert auch das Spektrum, was subtraktive Primärfarbschalter zu additiven Primärfarbschaltern macht und umgekehrt.

**[0137]** Wenn die LCD auf das achromatische Viertelwellenplättchen folgt, dann wird die gewünschte Bedingung der Verdopplung der LCD-Wirkung erfüllt. Doch das Viertelwellenplättchen wandelt den Polarisationszustand der LCD um, sodass der kombinierte Stapel dem Modulator keine isotropischen/Modulationszustände erzeugen kann. Um dieses Problem zu lösen, kann entweder ein anderer Modulator verwendet werden, der kompatibler ist, oder es kann ein anderes Stapeldesign angewandt werden. Eine Lösung, die Erstes beinhaltet, ist es, ein Drehelement wie z. B. einen CSLC-Viertelwellenretarder auf dem Spiegel zu verwenden. Der Gesamtmodulator weist dadurch die Struktur des in der US-Patentschrift Nr. 5.381. 253 beschriebenen Viertel-Halb-Viertelwellenvariablen Retarders auf. Wenn der Modulator ein Zero-Twist-Nematic-Flüssigkristall bleiben soll, dann muss das Stapeldesign modifiziert werden, für den Modulator in Verbindung mit einem achromatischen Viertelwellenplättchen geeignete isotropische/Modulationszustände zu erzeugen.

**[0138]** Falls der Analyse-Polarisator ein cholesterinisches Flüssigkristall (CLC) ist, kann ein Mehrfachstufenfilter sowohl für den Durchlass- als auch für den Reflexionsmodus ausgelegt sein, wie in [Fig. 28](#) gezeigt. Die erste Stufe moduliert blaues Licht und umfasst den Stapel **20a**, den elektrooptischen Modulator **10a** und blauen CLC **90a**. Die zweite Stufe moduliert grünes Licht und umfasst den Stapel **20b**, den elektrooptischen Modulator **10b** und grünen CLC **90b**. Die dritte Stufe moduliert rotes Licht und umfasst den Stapel **20c**, den elektrooptischen Modulator **10c** und roten CLC **90c**. Da das rote CLC blauem und grünem Licht gegenüber isotropisch ist, benötigt die Endstufe keinen Retarderstapel, wenn der elektrooptische Modulator **10c** so orientiert wird, dass das rote Licht im Modulationszustand ist. In der ersten Stufe wird abhängig von der variablen Retardierung  $\Gamma_v$  ein Prozentsatz des blauen Lichts, als  $\%B$  bezeichnet, durchgelassen, und der Rest wird reflektiert.

Das reflektierte Licht wird durch Pfeile unter der Gerätestruktur angezeigt. Da nur das blaue CLC auf selektive Weise blaues Licht reflektiert, d. h., die grünen und roten CLCs sind blauem Licht gegenüber isotropisch, ist die Polarisation des blauen Lichts nach dieser Stufe irrelevant. Die zweiten und dritten Stufen reflektieren und lassen Anteile des grünen und roten Lichts ebenso durch.

**[0139]** Die erfindungsgemäßen Filter können in Verbindung mit jedem anderen aktiven oder passiven Filter verwendet werden. Auch Hybridfilter können mit aktiven oder passiven Filtern hergestellt werden. Zum Beispiel kann das Filter statt eines neutralen Polarisators einen Farbpolarisator verwenden, wie z. B. einen Pigment-typ-Farbpolarisator oder einen Polarisatorretarderstapel(PRS)-Farbpolarisator. In diesem Fall enthält der „weiße“ Zustand nur die Wellenlängen, die vom Farbpolarisator durchgelassen werden. Das Weiß/Primärfarbe-Fil-ter kann auch mit einem Polarisationsinterferenzfilter kombiniert werden.

**[0140]** Die erfindungsgemäßen Filter können optisch adressiert werden. Zum Beispiel kann das optische Adressierungssystem einen Fotodetektor, eine PN-Diode oder einen Fototransistor umfassen, der ein optisches Signal erkennt, und kann die Filterausgabe dem optischen Signal entsprechend steuern. Anwendungen des optisch adressierten Filters schließen Augenschutzbrillen, Schweißschilder und Farbshuttergläser für die 2D- und 3D-Anzeige von Daten ein.

**[0141]** Die Filter können als Einzelpixel oder in einem Mehrfachpixelarray verwendet werden. Einzelpixelanwendungen schließen feldsequentielle Farbshutter, die Spektrometrie, Kolorimetrie, Beleuchtung (Heim, Haus, Bühne), Spektroskopie und Glasfaserkommunikation ein. Mehrfachpixelanwendungen schließen die Informationsanzeige, Bilderzeugung, den Druck, die Analyse und Speicherung und Kommunikation ein. In Mehrfachpixelarrays kann jedes Pixel über eine unabhängig angelegte Spannung unabhängig gesteuert werden. Jedes Pixel kann die analoge Intensitätssteuerung aller drei additiven oder subtraktiven Primärfarben gleichzeitig durchzuführen, wodurch es das volle Farbspektrum einschließlich Schwarz und Weiß bereitstellt.

**[0142]** Der Kompatibilität mit bestehenden Vorrichtungen halber können die Pixel Subpixel für jede Farbe aufweisen, zum Beispiel Weiß/Rot, Weiß/Grün und Weiß/Blau-Pixel. Die Subpixel können strukturiert sein, zum Beispiel mit Streifen- oder Quadratmustern wie die Bayer Mosaic oder andere Farbfilterarray-Muster (FPAs). Jedes aus Subpixeln bestehende Pixel dieser Erfindung weist gegenüber früheren räumlich multiplexierten Filtern den Vorteil auf, dass jedes Subpixel das volle Weißspektrum durchlassen kann, statt nur ein Drittel davon, wodurch die Weißhelligkeit um einen Faktor drei erhöht wird.

**[0143]** Anzeigeanwendungen umfassen Front- und Rückprojektionsanzeigen, virtuelle Anzeigen und Direktsichtanzeigen. Anzeigen können in verschiedenen Anwendungen verwendet werden, wie z. B. Frontscheibensichtanzeigen in Transportfahrzeugen einschließlich Kraftfahrzeugen, Lastkraftwagen und Flugzeugen, Projektoren, Desktopbildschirme, Heimkinos, Bühnenbeleuchtung, elektronische Spiele, Arcade-Spiele (3D und 2D), Laptopanzeigen, Pager, PDAs, GPS-Anzeigen, Messinstrumente wie z. B. Oszilloskope und Spektralanalysatoren, Web-Browser, tragbare Telefone, Helmdisplays und Displays für die virtuelle Realität, die erweiterte Realität, tragbare tragfähige Computer, Simulatoren, Camcorder und Anzeigebillen, Schutzbrillen oder Shutter.

**[0144]** Für Anzeigeanwendungen kann das Mehrfachpixelfilter in Verbindung mit emittierenden Anzeigen wie Bildröhren (CRT), Elektrolumineszenz(EL)-Anzeigen, Aktivmatrix-Elektrolumineszenz(AMEL)-Anzeigen, Feldemissionsanzeigen (FED) und Plasmaanzeigen verwendet werden. Sie können auch mit Modulatoranzeigen verwendet werden, die durchlässige Anzeigen wie z. B. TFT-LCD und Polysilizium-LCDs, reflektive Anzeigen wie z. B. Flüssigkristall-auf-Silizium (LCOS), Mikrospiegelgeräte (DMDs) und Beugungsgittergeräte und Passivmatrixanzeigen wie z. B. STN-Geräte verwenden.

**[0145]** Elektronische Bilderzeugungsanwendungen schließen Einzelblatt- und Dokumentenscanner, Internetkameras und Dokumentenscanner, Digitalkameras für die Studiofotografie, Mikroskopie, Multispektralabbildung, Dokumentation wie Foto-ID-Kameras, elektronische Amateurfotografie und andere Anwendungen einschließlich der Fluoreszenz-Spektrometrie, Kolorimetrie und medizinischen Bildgebung ein, die zum Beispiel mit Endoskopen und anderem medizinischen Diagnosegerät verwendet werden.

**[0146]** Um Bilderzeugungsgeräte zu ergeben, können die Filter dieser Erfindung mit Standbild- oder Videokameras kombiniert werden, die mit ladungsgekoppelten Bauelementen, ladungsintegrierenden Bauelementen oder Komplementär-Metalloxid-Halbleiter-Einfachpixel- oder Mehrfachpixel-Bildwandlern kombiniert werden können.

[0147] [Fig. 29](#) zeigt einen Stapel **290** mit einem ersten Retarder **291** und einem zweiten Retarder **292**, die jeweils eine erste Orientierung  $\alpha_1$  und eine zweite Orientierung  $\alpha_2$  sowie jeweils eine erste Retardierung  $\Gamma_1$  und eine zweite Retardierung  $\Gamma_2$  aufweisen. [Fig. 29](#) zeigt partiell polarisiertes Licht **294**, das in den Stapel **290** eingegeben wird. Partiell polarisiertes Licht **294** kann in jedem Frequenzspektrum der elektromagnetischen Strahlung liegen, und kann mit jeder Elliptizität, Orientierung oder Drehrichtung elliptisch polarisiert sein. Partiell polarisiertes Licht besteht aus einer polarisierten und einer unpolarisierten Komponente. Die unpolarisierte Komponente wird unverändert durchgelassen. In den Zeichnungen beziehen wir uns auf die Wirkung der Elemente, die auf die polarisierte Komponente des Lichts wirken. Die polarisierte Komponente kann jede Polarisation aufweisen, mit jeder Orientierung, Elliptizität und Drehrichtung. Siehe zum Beispiel Kapitel 1 von „Optical Waves in Layered Media“, Copyright 1988, John Wiley & Sons, New York. Mit partiell polarisiertem Licht ist Licht gemeint, das nicht völlig unpolarisiert ist.

[0148] Der Stapel **290** wandelt partiell polarisiertes Licht **294** auf bekannte Weise abhängig von den Werten der ersten und zweiten Orientierung  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  sowie der ersten und zweiten Retardierung  $\Gamma_1$  und  $\Gamma_2$  um. Die erste und zweite Orientierung  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  werden in Bezug auf die Polarisation des partiell polarisierten Lichts **294** gemessen. Wenn partiell polarisiertes Licht **294** elliptisch polarisiert ist, dann können  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  als die Achse der Eingangs- oder Ausgangspolarisationsellipse definiert werden.

[0149] Der Stapel **290** wandelt partiell polarisiertes Licht **294** in zweites polarisationsumgewandeltes Licht **296** um. Das heißt, partiell polarisiertes Licht **294** wird vom ersten Retarder **291** empfangen und in erstes umgewandeltes Licht (nicht gezeigt) umgewandelt. Das erste umgewandelte Licht, das vom ersten Retarder **291** ausgegeben wird, wird dann in den zweiten Retarder **292** eingegeben. Das zweite polarisationsumgewandelte Licht **296** enthält einen ersten Lichtanteil **297** und einen zweiten Lichtanteil **298**. Der erste Lichtanteil **297** weist eine erste Polarisation  $P_{M1}$  auf, und der zweite Lichtanteil **298** weist eine zweite Polarisation  $P_{M2}$  auf. Der erste Lichtanteil **297** weist auch ein erstes Spektrum  $F'$  auf, und der zweite Lichtanteil **298** weist ein zweites Spektrum  $F'_-$  auf.

[0150] Der Stapel **290** ist ein Lichtvorbehandlungsgerät, um Licht zur Eingabe für ein Lichtmodulationsgerät (nicht gezeigt) vorzubereiten. In einem Sonderfall können das erste Spektrum  $F'$  und das zweite Spektrum  $F'_-$  Komplemente voneinander sein und zusammen das Spektrum des partiell polarisierten Lichts **294** sein und daher dem Spektrum  $F$  und dem Komplementärspektrum  $F_-$  von [Fig. 1](#) entsprechen. Das erste Spektrum  $F'$  weist die erste Polarisation  $P_{M1}$  auf, die mehr moduliert ist als das zweite Spektrum  $F'_-$  mit der zweiten Polarisation  $P_{M2}$ . Sobald das partiell polarisierte Licht **294** vorhanden und die Modulatoreigenschaften (nicht gezeigt) bekannt sind, können die erste Orientierung  $\alpha_1$  und die erste Retardierung  $\Gamma_1$ , sowie die zweite Orientierung  $\alpha_2$  und die zweite Retardierung  $\Gamma_2$  der obigen Erläuterung entsprechend bestimmt werden. Zusätzliche Retarder können zum Stapel **290** hinzugefügt werden, um die spezifizierten Leistungen zu erreichen, wie oben erläutert.

[0151] In einem Sonderfall weist das erste Ausgangslicht **297** eine Polarisation  $P_{M1}$  auf, die vom Modulator beeinflusst oder moduliert wird, wogegen das zweite Ausgangslicht **298** mit der Polarisation  $P_{M2}$  nicht vom Modulator moduliert wird, wie zum Beispiel Bezug nehmend auf [Fig. 1](#) und woanders erläutert. In der folgenden Erläuterung bezieht sich der Begriff orthogonal, wenn er Polarisationszustände betrifft, nicht unbedingt auf zwei Linearzustände, die zueinander rechtwinklig sind, sondern vielmehr allgemein auf zwei Polarisationszustände, die folgende Eigenschaft haben. Wenn ein erster Polarisator einen ersten Eigenzustand aufweist, der der ersten Polarisation entspricht, und der zweite Polarisator einen Eigenzustand aufweist, der der zweiten Polarisation entspricht, und wenn unpolarisiertes Licht in den ersten Polarisator und zweiten Polarisator eingegeben wird, wird vom zweiten Polarisator kein Licht ausgegeben. Das heißt, der erste und zweite Polarisator sind in einem generellen Sinn „gekreuzt“. Daher sind im Sonderfall des linear polarisierten Lichts die erste Polarisation und die zweite Polarisation orthogonal, wenn sie rechtwinklig sind. Im Sonderfall des zirkular polarisierten Lichts sind die erste Polarisation und die zweite Polarisation orthogonal, wenn die Drehrichtung der ersten Polarisation entgegengesetzt zur Drehrichtung der zweiten Polarisation ist, d. h., die erste Polarisation kann rechtsdrehend und die zweite Polarisation kann linksdrehend sein, oder umgekehrt. Im Fall der elliptischen Polarisation schließlich (dem Sonderfall der Zirkularpolarisation) würde die erste Polarisation eine größere und kleinere Achse haben, die jeweils senkrecht zur größeren und kleineren Achse der zweiten Polarisation sind.

[0152] Wieder Bezug nehmend auf [Fig. 29](#), können die erste Polarisation  $P_{M1}$  und die zweite Polarisation  $P_{M2}$  nicht gleich sein und können orthogonal sein oder nicht. Partiell polarisiertes Licht **294** kann sichtbares Licht sein oder nicht. Wie oben erläutert, können der Stapel **290** und insbesondere der erste Retarder **291** und der zweite Retarder **292** Polymerretarder, Flüssigkristallpolymerretarder, formdoppelbrechende Materialien, polymerdoppelbrechende Materialien, Flüssigkristallpolymerretarder, doppelbrechende Kristalle, Flüssigkristalle usw. sein. Der Stapel **290** kann alle möglichen Materialien und Retarder umfassen, die oben in Bezug auf den

Stapel 20 von [Fig. 1](#) erläutert wurden. Daher sind die erste Orientierung  $\alpha_1$  und die zweite Orientierung  $\alpha_2$  nicht gleich, doch die erste erste Retardierung  $\Gamma_1$  und die zweite Retardierung  $\Gamma_2$  können je nach Polarisation des partiell polarisierten Lichts 294 und der gewünschten Polarisation  $P_{M1}$  und  $P_{M2}$  jeweils des ersten Ausgangslichts 297 und des zweiten Ausgangslichts 298 gleich sein oder nicht.

[0153] [Fig. 30a](#) und [Fig. 30b](#) zeigen zwei allgemeine Beispiele für partiell polarisiertes Licht 294 und 294', das in Stapel 300 und 300' eintritt, die dem Stapel 290 von [Fig. 29](#) entsprechen. Hier umfasst das zweite polarisationsumgewandelte Licht 296 das erste Spektrum  $F'$  mit der Polarisation  $P_{M1}$  und das zweite Spektrum  $F'_-$  mit der Polarisation  $P_{M2}$ , wobei  $P_{M1}$  und  $P_{M2}$  lineare Polarisationen und nicht unbedingt rechtwinklig sind. Das zweite polarisationsumgewandelte Licht 296' umfasst das erste Spektrum  $F''$  mit der Polarisation  $P_{M1}$  und das zweite Spektrum  $F''-$  mit der Polarisation  $P_{M2}$ , wobei  $P_{M1}$  und  $P_{M2}$  lineare Polarisationen und nicht unbedingt orthogonal sind.

[0154] [Fig. 31a](#) und [Fig. 31b](#) zeigen Stapel 300 und 300' mit dem Zusatz von jeweiligen Polarisatoren 311 und 311'. [Fig. 31a](#) entspricht der Situation, in der das zweite polarisationsumgewandelte Licht 296 einen ersten Anteil 297 und einen zweiten Anteil 298 umfasst, die jeweils mit der ersten Polarisation  $P_{M1}$  und der zweiten Polarisation  $P_{M2}$  linear polarisiert sind. [Fig. 31b](#) entspricht dem Fall, in dem das zweite polarisationsumgewandelte Licht einen ersten Anteil 297 und einen zweiten Anteil 298 umfasst, die jeweils mit der ersten Polarisation  $P_{M1}$  und der zweiten Polarisation  $P_{M2}$  elliptisch polarisiert sind. In beiden Fällen wird unpolarisiertes Licht 312 mindestens partiell durch Polarisatoren 311 und 311' polarisiert, um partiell polarisiertes Licht zu ergeben, das [Fig. 30a](#) und [Fig. 30b](#) entspricht. Die Polarisatoren 311 und 311' können die gleichen sein wie der Polarisator 40 in [Fig. 1](#), und die Polarisatoren 311 und 311' können auch Polarisatoren absorbierenden Typs wie dichroistische oder pigmentbasierte Polarisatoren oder nicht absorbierende Polarisatoren einschließlich cholesterinischer Flüssigkristalle, cholesterinischer Polymer-Flüssigkristalle, Polarisatoren auf Retarderbasis und Splitter umfassen. Die Polarisatoren 311 und 311' können auch Polarisatoren nicht absorbierenden Typs wie polarisierende dielektrische Folien umfassen, einschließlich jenen, die in polarisierenden Strahlteilern verwendet werden, Kalkspat, Quarz, Streupolarisatoren, prismatischen Polarisatoren, gestapelten cholesterinischen Polarisatoren mit Lamda/4-Plättchen oder Polarisatoren sonstigen Typs.

[0155] [Fig. 32a](#) und [Fig. 32b](#) zeigen eine Vorrichtung 321, um jeweils partiell polarisiertes Licht 294 und 294' zu manipulieren und das resultierende Modulatorausgangslicht 325 und 325' auszugeben. Bezug nehmend auf [Fig. 32a](#) umfasst die Manipulationsvorrichtung 321 einen Retarder 322 und Modulator 320. Der Retarder 322 entspricht dem oben erläuterten Retarder 291 und weist eine Orientierung  $\alpha_1$  in Bezug auf partiell polarisiertes Licht 294 und eine Retardierung  $\Gamma_1$  auf. Partiell polarisiertes Licht 294 durchläuft den Retarder 322 und wird in umgewandeltes Licht 296 umgewandelt, das einen ersten Anteil 297 mit einer ersten Polarisation  $P_{M1}$  und einem ersten Spektrum  $F'$  sowie einen zweiten Anteil 298 mit einer zweiten Polarisation  $P_{M2}$  und einem zweiten Spektrum  $F'_-$  aufweist. Umgewandeltes Licht 296 wird dann in den Modulator 320 eingegeben, der den ersten Anteil 297 auf andere Weise moduliert als den zweiten Anteil 298. In einem Sonderfall kann die zweite Polarisation  $P_{M2}$  gewählt werden, um einem Zustand zu entsprechen, in welchem der Modulator 320 dem zweiten Anteil 298 unabhängig von der Treiberspannung des Modulators 320 isotropisch erscheint. In diesem Fall, der der obigen Erläuterung entspricht, bleibt die zweite Polarisation  $P_{M2}$  ungeachtet des Zustands des Modulators 320 (z. B. ungeachtet der am Modulator angelegten Treiberspannung) unverändert oder unbeeinflusst, wenn umgewandeltes Licht 296 durch den Modulator 320 geht. Wenn der zweite Anteil 298 in solch einem isotropischen Zustand ist, dann darf der erste Anteil 297 hier nicht in einem isotropischen Zustand sein (d. h., er muss durch eine anliegende Treiberspannung moduliert werden).

[0156] In einer alternativen Ausführungsform sollte der erste Anteil 297 mit der ersten Modulation  $P_{M1}$  vom Modulator 320 auf eine andere Weise moduliert werden als der zweite Anteil 298 mit der zweiten Modulation  $P_{M2}$ . Wie in der Zeichnung zu sehen, wird der erste Anteil 297 mit der ersten Modulation  $P_{M1}$  vom Modulator 320 empfangen und moduliert, um einen ersten Anteil 323 des Modulatorausgangslichts 325 mit einem dritten Spektrum  $F_3$  und einer dritten Polarisation  $P_3$  zu ergeben. Auch der zweite Anteil 298 mit der zweiten Modulation  $P_{M2}$  und dem zweiten Spektrum  $F'_-$  wird vom Modulator 320 empfangen, der einen ersten Anteil 324 des Modulatorausgangslichts 325 mit einem vierten Spektrum  $F_4$  und einer vierten Polarisation  $P_4$  ausgibt. Allgemein gesprochen wird die Art, auf die der erste Anteil 297 vom Modulator 320 beeinflusst wird, nicht bei allen Spannungen dieselbe sein wie die Art, auf die der zweite Anteil 298 vom Modulator 320 beeinflusst wird (es kann bestimmte Spannungen geben, bei denen beide auf die gleiche Weise beeinflusst werden).

[0157] [Fig. 32b](#) entspricht [Fig. 32a](#), wobei aber elliptisch polarisiertes Licht statt linear polarisiertes Licht in den Modulator 320 eingegeben wird. Das heißt, das umgewandelte Licht 296' enthält einen ersten Anteil 297' mit einer ersten Polarisation  $P_{M1}'$  und einem ersten Spektrum  $F''$  und einen zweiten Anteil 298' mit einer zweiten

Polarisation  $P_{M2}'$  und einem zweiten Spektrum  $F_-'$ . Der erste Anteil **297'** des umgewandelten Lichts **296'** wird vom Modulator **320** empfangen und in einen dritten Anteil **323'** des Modulatorausgangslichts **325'** mit einer dritten Polarisation  $P_3'$  und einem dritten Spektrum  $F_3'$  umgewandelt. Der zweite Anteil **298'** des umgewandelten Lichts **296'** wird vom Modulator **320** empfangen, um einen zweiten Anteil **324'** des Modulatorausgangslichts **325'** zu ergeben, der eine vierte Polarisation  $P_4'$  und ein vierter Spektrum  $F_4'$  aufweist. In einem Sonderfall ist die Polarisation  $P_{M2}'$  in einem isotropischen Zustand des Modulators **320**, sodass der zweite Anteil **298'** des umgewandelten Lichts **296'** vom Modulator **320** nicht beeinflusst oder nicht moduliert wird. In diesem Fall wird der erste Anteil **297'** des umgewandelten Lichts **296'** ungeachtet der am Modulator **320** anliegenden Spannung vom Modulator **320** moduliert.

**[0158]** Der Modulator **320** kann ein elektrooptischer Modulator, ein magnetooptischer Modulator oder eine andere optische Einheit sein, die Licht modulieren kann. Folglich kann der Modulator **320** ein Flüssigkristall wie z. B. ein nematisches Flüssigkristall, ein Surface-Mode-Gerät, Twisted-Nematic, Super-Twisted-Nematic, ein elektrisch gesteuertes doppelbrechendes, Hybridfeldeffekt- und Hybrid-Aligned-Nematic-Flüssigkristallgerät enthalten. Alternativ dazu kann der Modulator eine Pi-Zelle, eine Zero-Twist-Zelle, ein Guest-Host-Dye-Flüssigkristallgerät umfassen. Der Modulator **320** kann auch ein smektisches Flüssigkristall, ein chiral-smektisches Material enthalten, und kann FmC\*, einen oberflächenstabilisiertes FLC, ein volumenstabilisiertes FLC, ein elektrokinisches, verzerrhelikalen ferroelektrisches, anti-ferroelektrisches, flexo-elektrisches und achiral-ferroelektrisches Flüssigkristall-Retarder einschließen. Der Retarder **322** kann aus jedem der Materialien bestehen, die für die Retarder in den obigen Stapeln verwendet wurden.

**[0159]** [Fig. 33a](#) zeigt eine Vorrichtung **330**, um das mindestens partiell polarisierte Licht **294** zu manipulieren. Das heißt, die Vorrichtung **330** umfasst den Retarder **322** und Modulator **320** für [Fig. 32a](#) und [Fig. 32b](#). Die Vorrichtung umfasst außerdem einen Retarder **331**, wobei der Retarder **322** auf einer Seite des Modulators **320** liegt und der Retarder **331** auf der anderen Seite des Modulators **320** liegt. Bezug nehmend auf [Fig. 33a](#) wird partiell polarisiertes Licht **294** durch den Retarder **322** und den Modulator **320** durchgelassen, der Zwischenlicht **326** ausgibt, das einen ersten Anteil **323** und einen zweiten Anteil **324** enthält. Der erste Anteil **323** des Zwischenlichts **326** weist ein erstes Spektrum von  $F_3$  und eine dritte Polarisation  $P_3$  auf, und ein zweiter Anteil **324** des Zwischenlichts **326** weist ein vierter Spektrum  $F_4$  und eine vierte Polarisation  $P_4$  auf, wie oben Bezug nehmend auf [Fig. 32a](#) beschrieben. Der erste Anteil **323** des Zwischenlichts **326** wird durch den zweiten Retarder **331** durchgelassen, der den ersten Anteil **333** des Zwischenlichts **326** in **333** des Ausgangslichts **335** umwandelt. Der erste Anteil **333** des Ausgangslichts **335** weist ein fünftes Spektrum  $F_5$  und eine sechste Polarisation  $P_5$  auf. Auch der zweite Anteil **324** des Zwischenlichts **326** wird durch den zweiten Retarder **331** durchgelassen, der es in den zweiten Anteil **334** des Ausgangslichts **335** mit einem sechsten Spektrum  $F_6$  und einer sechsten Polarisation  $P_6$  umwandelt. Der erste Retarder **322** weist eine erste Orientierung  $\alpha_1$  und eine erste Retardierung  $\Gamma_1$  auf, und der zweite Retarder **331** weist eine zweite Orientierung  $\alpha_2$  und eine zweite Retardierung  $\Gamma_2$  auf, wobei die erste Orientierung  $\alpha_1$  und die zweite Orientierung  $\alpha_2$  in Bezug auf eine Polarisationsrichtung des partiell polarisierten Lichts **294** gemessen werden. Wie zuvor sollte die Weise, auf welche der Modulator **320** den ersten Anteil **297** moduliert, nicht die gleiche sein wie die Weise, auf welche der Modulator **320** den zweiten Anteil **298** moduliert.

**[0160]** In einer spezifischen Ausführungsform können die erste Orientierung  $\alpha_1$  und die erste Retardierung  $\Gamma_1$  so gewählt werden, dass der erste Anteil **297** des umgewandelten Lichts **296** vom Modulator **320** moduliert wird und der zweite Anteil **298** des umgewandelten Lichts **296** nicht vom Modulator **320** moduliert wird, d. h., der Modulator **320** erscheint dem zweiten Anteil **298** gegenüber isotropisch. In diesem Fall wird der zweite Anteil **324** des Zwischenlichts **325** vom Modulator **320** nicht verändert oder moduliert oder beeinflusst. Deshalb entspricht  $F'$  etwa  $F_4$  und  $P_{M2}'$  entspricht etwa  $P_4$ .

**[0161]** In einer anderen spezifischen Ausführungsform können die zweite Orientierung  $\alpha_2$  und die zweite Retardierung  $\Gamma_2$  so gewählt werden, dass die fünfte Polarisation  $P_5$  rechtwinklig zur sechsten Polarisation  $P_6$  ist und das fünfte Spektrum  $F_5$  komplementär zum sechsten Spektrum  $F_6$ . In solch einer Situation kann ein Analysator verwendet werden, um entweder den ersten Anteil **333** oder den zweiten Anteil **334** des Ausgangslichts **335** auf selektive Weise auszufiltern, um jeweils das fünfte Spektrum  $F_5$  oder das sechste Spektrum  $F_6$  zu ergeben.

**[0162]** In einer anderen Ausführungsform können die erste Orientierung  $\alpha_1$  und die erste Retardierung  $\Gamma_1$  so gewählt werden, dass der Modulator **320** mindestens einen Zustand aufweist, in dem der erste Anteil **297** moduliert wird und der zweite Anteil **298** nicht moduliert wird.

**[0163]** In einer anderen Ausführungsform kann die erste Orientierung  $\alpha_1$  in einem Winkel  $\alpha$  sein und die zweite

Orientierung  $\alpha_2$  kann in einem Winkel von  $90 \pm \alpha$  sein.

**[0164]** In einer weiteren Ausführungsform wird das zweite Spektrum  $F_{-4}$  des zweiten Anteils **298** zum zweiten Anteil **324** durchgelassen, in dem das vierte Spektrum  $F_4$  im Wesentlichen für alle Treiberspannungen das gleiche wie das zweite Spektrum  $F_{-4}$  ist und die vierte Polarisation  $P_4$  im Wesentlichen der zweiten Polarisation  $P_{M2}$  entspricht, während der erste Anteil **297** des transformierten Lichts **296** der Treiberspannung des Modulators **320** entsprechend kontinuierlich variiert wird, um einen kontinuierlich variierten ersten Anteil **323** des Zwischenlichts **325** zu ergeben. Ein Sonderfall davon wäre, dass die zweite Orientierung  $\alpha_2$  und die zweite Retardierung  $\Gamma_2$  so gewählt würden, dass der erste Anteil **333** des Ausgangslichts **335** auf kontinuierliche Weise von 0 bis zum fünften Spektrum  $F_5$  und der fünften Polarisation  $P_5$  entspricht, wenn die Treiberspannung durch den Modulator kontinuierlich variiert wird.

**[0165]** [Fig. 33b](#) entspricht [Fig. 33a](#) für den Fall, in welchem partiell polarisiertes Licht **294'** elliptisch polarisiert wird.

**[0166]** In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Modulator **320** zwischen einem ersten und einem zweiten Schaltzustand umschaltbar, wobei der erste Schaltzustand einem Modulationszustand entspricht und der zweite Zustand einem isotropischen Polarisationszustand. In diesem Fall werden die erste Orientierung  $\alpha_1$  und die erste Retardierung  $\Gamma_1$  für den Retarder **322** so gewählt, dass das erste Spektrum  $F$  des ersten Anteils **297** des umgewandelten Lichts **296** die erste Polarisation  $P_{M1}$  aufweist, die dem Polarisationsmodulationszustand des Modulators **320** entspricht. Die erste Orientierung  $\alpha_1$  und die erste Retardierung  $\Gamma_1$  werden auch so gewählt, dass das zweite Spektrum  $F_{-1}$  dem Komplementärspektrum  $F_1$  dem ersten Spektrums  $F$  entspricht und die zweite Polarisation  $P_{M2}$  dem isotropischen Polarisationszustand des Modulators **320** entspricht. Überdies werden die zweite Orientierung  $\alpha_2$  und die zweite Retardierung  $\Gamma_2$  auf solch eine Weise gewählt, dass das fünfte Spektrum  $F_5$  annähernd dem ersten Spektrum  $F$  entspricht, das sechste Spektrum  $F_6$  annähernd dem Komplementärspektrum  $F$  entspricht und die fünfte Polarisation  $P_5$  orthogonal zur sechsten Polarisation  $P_6$  ist, wenn der Modulator in seinem ersten Schaltzustand ist. Das heißt, die Polarisation des ersten Anteils **333** ist rechtwinklig zur Polarisation des zweiten Anteils **334** des Ausgangslichts **335**.

**[0167]** Bei Winkeln zwischen 0 und  $90^\circ$  gewährleistet das Filter die analoge Intensitätssteuerung für jede Farbe. Die erste Stufe moduliert Grün mit  $T_G = \sin^2 \theta_1$ . Die zwei folgenden Stufen beeinflussen die Gründurchlässigkeit nicht, weil sowohl das Cyan- als auch das Gelb-LCPF in allen Polarisationen Grün durchlassen. Die zweite Stufe moduliert Rot mit  $T_R = \sin^2 \theta_2$  und das rote Licht wird von der dritten Stufe nicht beeinflusst. Das Problem tritt bei der Blaumodulation auf. Nur der Polarisator **7** der dritten Stufe polarisiert blaues Licht, doch beide LCDs **4** und **6** beeinflussen die Orientierung des blauen Lichts. Daher ist  $T_B = \sin^2(\theta_1 + \theta_2)$  und wird nicht unabhängig von  $T_R$  gesteuert.

**[0168]** Dieses Problem kann mit dem erfindungsgemäßen farbselektiven Polarisationsmodulator gelöst werden. [Fig. 35](#) veranschaulicht den Polarisationsmodulator, umfassend den Stapel **20** und den Modulator **10**, für den Fall, dass die Modulations- und isotropischen Zustände des elektrooptischen Modulators jeweils Linear- und Zirkularpolarisationen sind. Twisted-Nematic-Flüssigkristalle fallen in diese Klasse. Der Retarderstapel **20** wandelt Cyan-Licht in zirkular polarisiertes Licht um, in diesem Fall rechtsdrehend, und lässt rotes Licht linear polarisiert. Wenn TN **10** im 0-Zustand ist ([Fig. 35a](#)), wird das rote Licht auf  $90^\circ$  gedreht, und das zirkular polarisierte Cyan-Licht bleibt zirkular. Im 1-Zustand ([Fig. 35b](#)) bleibt das rote Licht auf null und das Cyan-Licht bleibt zirkular. Der elektrooptische Modulator **10** kann das rote Licht auf eine analoge Weise zwischen 0 und  $90^\circ$  drehen, das cyanfarbene Licht bleibt aber stets zirkular. Das polarisationsmodulierte Licht kann mit einem Polarisationsanalysator analysiert werden, der den zweiten Retarderstapel **30** in Verbindung mit dem Cyan-LCPF **80** verwendet. Der Retarderstapel wandelt das zirkulare Licht zurück in lineares Licht um und lässt das lineare Licht linear. Der Farbpolarisator **80** lässt das Cyan-Licht in allen Schaltzuständen durch und lässt eine variable Intensität an rotem Licht durch.

**[0169]** Ein Schlüsselmerkmal des Polarisationsmodulators von [Fig. 35](#) ist, dass es auf selektive Weise rotes Licht moduliert, im Gegensatz zur zweiten Stufe (Elemente 3, 4 und 5) der Plummer-Vorrichtung aber kein blaues Licht moduliert. Der Vorteil davon wird in [Fig. 36](#) veranschaulicht. Die erste Stufe verwendet das Magenta-LCPF **80a**, die LCD **10a** und den neutralen Polarisator **40**, um grünes Licht zu modulieren. Die Elemente der zweiten Stufe **20**, **10b** und **30** modulieren die Polarisation des roten Lichts, ohne die Polarisation des blauen Lichts zu modulieren. Da keine Elemente jenseits der ersten Stufe grünes Licht polarisieren, spielt es keine Rolle, ob grünes Licht in den Modulationszustand, isotropischen Zustand oder beides des elektrooptischen Modulators **10b** fällt. Das blaue Licht, das vom zweiten Zustand unbeeinflusst bleibt, wird von der LCD **10c** in Verbindung mit dem gelben LCPF **80c** intensitätsmoduliert.

**[0170]** Der Polarisatorstapel **20** polarisiert das Spektrum F\_zirkular und polarisiert das Spektrum F linear. Der einfachste Stapel ist ein einziger Viertelwellenretarder mit einer Orientierung von  $45^\circ$  und einer Auslegungswellenlänge irgendwo im Spektrum F\_. Eine bessere Polarisationssteuerung kann mit einem Stapel erreicht werden, der das Viertelwellenretardierungsspektrum F bereitstellt, die Viertelwellenretardierung durch das Spektrum F hindurch gewährleistet, aber die Voll- oder Halbwellenretardierung im Spektrum F gewährleistet. Solch ein Stapel kann ein zusammengesetzter Schmalband- und Halbwellen-Viertelwellenretarder genannt werden. Zusammengesetzte achromatische Retarder werden in der US-Patentanmeldung 08/491.593 beschrieben, die hierin durch Bezugnahme in ihrer Gesamtheit aufgenommen wird. Eine Anwendung eines achromatischen Retarderstapels weist drei Retarder mit der gleichen Retardierung auf, in Winkeln von  $\pi/12$ ,  $5\pi/12$  und  $\pi/12$ . Die Winkel können variiert werden, und die Retardierung der drei Retarder können gewählt werden, um an die Wellenlänge, Bandbreite und den Übergang des vierwellenverzögernden Spektralbereichs angepasst zu werden. Retarder bei  $14^\circ$ ,  $85^\circ$  und  $14^\circ$  sind ein Beispiel eines geeigneten Stapsels.

**[0171]** Das Filter von [Fig. 36](#) ist nur eine Ausführungsform eines Filters, das einen TN im Polarisationsmodulator verwendet. Es können andere Filter entworfen werden. Zum Beispiel kann der neutrale Polarisator hinter statt vor dem farbselektiven Polarisationsmodulator angeordnet sein. Die Reihenfolge, in der die Farben gefiltert werden, können anders sein, auch wenn die für den Retarderstapel benötigte Übergangsschärfe reduziert wird, wenn Grün von der ersten Stufe moduliert wird. Die Stufe mit dem farbselektiven Polarisationsmodulator kann mit anderen Farbshuttersystemen kombiniert werden, die dem Fachmann bekannt sind, und sind nicht auf Shutter mit LCPs eingeschränkt.

**[0172]** Die erfindungsgemäßen Filter können in Verbindung mit jedem aktiven oder passiven Filter verwendet werden. Auch Hybridfilter können mit aktiven oder passiven Filtern hergestellt werden. Zum Beispiel kann das Filter statt eines neutralen Polarisators einen Farbpolarisator verwenden, wie z. B. einen Pigmenttyp-Farbpolarisator oder einen Polarisatorretarderstapel(PRS)-Farbpolarisator. In diesem Fall enthält der „weiße“ Zustand nur die Wellenlängen, die vom Farbpolarisator durchgelassen werden. Das Weiß/Primärfarbe-Filter kann auch mit einem Polarisationsinterferenzfilter kombiniert werden.

**[0173]** Ein anderes in Reihe angeordnetes Filter dieser Erfindung verwendet eine erste Stufe, um zwei Primärfarben mit einer zweiten Stufe zeitlich zu multiplexieren, die der dritten Primärfarbe dediziert ist, wie in [Fig. 37](#) gezeigt. Dies ist ein Hybrid zwischen Filtern, die alle drei Primärfarben zeitlich multiplexieren, und den subtraktiven, Filtern dieser Erfindung, die eine Stufe für jede Primärfarbe aufweisen. Der Farbshutter **100** alterniert zwischen dem Durchlass von zwei subtraktiven Primärfarben, in diesem Fall Cyan und Magenta. Die additive Primärfarbe, die diesen gemeinsam ist, Blau, wird von der zweiten Stufe moduliert, und die anderen additiven Primärfarben, Rot und Grün, werden alternierend von der ersten Stufe moduliert. Der Farbshutter kann jeder Shutter sein, der zwischen dem Durchlass von zwei subtraktiven Primärfarben umschaltet. Er kann eine Flüssigkristallzelle enthalten. Auch wenn die LCDs **10a** und **10b** gepixelt sind, braucht der Farbshutter dies nicht zu sein.

**[0174]** Um blaues Licht unverändert durch die erste Stufe durchzulassen, wird es vom Retarderstapel **20** in zirkulares Licht umgewandelt, während Rot und Grün (Gelb) linear polarisiert bleibt. Der elektrooptische Modulator **10a** dreht das rote und grüne Licht um  $\theta_1$ , aber nicht das blaue, und der zweite Stapel **30** stellt die lineare Polarisation bei  $0^\circ$  des blauen Lichts wieder her. Der Modulator **10b** der zweiten Stufe dreht das blaue Licht um  $\theta_2$  und das LCPF **80** lässt einen Bruchteil des blauen Lichts durch, der von  $\theta_2$  abhängig ist. Der Modulator **10b** dreht auch rotes und grünes Licht, doch da das LCPF **80** Rot und Grün polarisationsunabhängig durchlässt, hat es auf die rote und grüne Ausgabe keinen Einfluss.

**[0175]** Ein Vorteil des zweistufigen Filters von [Fig. 37](#) gegenüber Filtern, die alle drei Farben zeitlich multiplexieren, ist eine Verringerung in der Betriebsgeschwindigkeit, die erforderlich ist, um Wahrnehmungseffekte zu vermeiden. Da eine Primärfarbe die ganze Zeit über angezeigt wird, wird das Flimmern verringert. Wenn Grün die Primärfarbe ist, die in jedem Einzelbild angezeigt wird, wird die Helligkeit erhöht. Wenn Rot es ist, kann die Farbabstimmung verbessert werden. Statt die erste Stufe mit dem Farbshutter **100** zeitlich zu multiplexieren, kann die erste Stufe mithilfe eines gepixelten farbpassiven Farbfilters in Verbindung mit der gepixelten LCD **10a** räumlich multiplexiert werden. Das gemeinsame Merkmal ist, dass die zweite Stufe einer Primärfarbe dediziert ist und dass die Primärfarbe aufgrund des Retarderstapels **20** von der ersten Stufe nicht moduliert wird. Die Endstufe kann jedes Mittel verwenden, um blaues Licht zu modulieren, wie z. B. ein blaues cholesterinisches Flüssigkristall, solange das rote und grüne Licht nicht moduliert werden.

**[0176]** Eine andere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird Bezug nehmend auf [Fig. 40](#) veranschaulicht, wo eine Direktsichtanzeige **302'** und eine Tastatur **304'** einen Notebook-Rechner oder alternativ dazu ei-

nen tragbaren PDA 300' ergeben. Das Display 302 ist aus dem farbselektiven Polarisationsmodulator von [Fig. 1](#) geformt. Der Personal-Computer oder die tragbare Anzeigevorrichtung 300' kann ein Modem 306' einschließen, um einen Internet- oder Webzugang zu gewährleisten, ist batteriegespeist und kann eine Festplatte oder ein CD-ROM-Laufwerk, eine Digitalkamera oder einen Scanner 308' umfassen oder daran angeschlossen werden.

**[0177]** Auch kleinere Anzeigesysteme, die die Struktur von [Fig. 1](#) aufweisen, mit Diagonalabmessungen zwischen 0,5 und 1,5 Zoll können für verschiedene Anwendungen hergestellt werden, einschließlich des Heimdisplays, das in [Fig. 41](#) gezeigt wird. Das System 400' schließt ein Gestell oder Band 412' ein, um das System auf dem Kopf eines Benutzers zu befestigen und die Anzeigen 402', 404' in Bezug auf das rechte und linke Auge 420', 422' des Benutzers auszurichten. Jede Anzeige 402', 404' richtet durch ein Linsensystem 408', 406' ein Farbbild auf die Augen des Benutzers. Ein Gehäuse 410', das am Gestell oder Band 412' befestigt ist, enthält die optischen Komponenten und kann elektronische Anzeigetreiber und Audiokomponenten umfassen. Jede Anzeige 402' und 404' weist eine dünne Hintergrundbeleuchtung als Lichtquelle wie z. B. eine Fluoreszenz-, Elektrolumineszenz- oder sonstige Emissionsanzeige auf.

**[0178]** Eine andere bevorzugte Ausführungsform wird in [Fig. 42](#) gezeigt, wo die farbselektiven Polarisationsmodulatoren in Computerbildschirmen und Fernsehgeräten mit Rückprojektion verwendet werden. Spiegel 502', 504' werden benutzt, um Bilder, die vom System 500' erzeugt werden, auf einen Rückansichtsbildschirm 506' zu lenken.

**[0179]** Wie in [Fig. 43](#) gezeigt, ist eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ein Projektionssystem 10' mit ersten und zweiten Flüssigkristallanzeigen 22', 28', die jeweils mit ersten und/oder zweiten Farbshuttern oder -schaltern 20', 26' ausgerichtet sind.

**[0180]** Das System 10' umfasst eine Lichtquelle 12', einen Reflektor 14', um das Licht durch einen dichroitischen Spiegel 16' zu richten, der das Licht in zwei optische Wege 42', 44' aufteilt. Licht, das entlang des Wegs 42' gerichtet ist, wird durch den Spiegel 18' zuerst auf einen ersten Farbshutter 20', durch die Flüssigkristallanzeige 22' und in das Mischprisma 30' gerichtet. Die Lichtquelle kann eine Metallhalidlampe, eine Wolframhalogenlampe oder eine Xenonbogenlampe sein.

**[0181]** Licht, das entlang des Wegs 44' gerichtet ist, wird durch den Spiegel 24' durch einen zweiten Farbshutter 26' und eine zweite Flüssigkristallanzeige in den Mischer 30' reflektiert. Der Mischer 30' kann zwei Elemente 32', 34 aufweisen, die an der Grenzfläche 36' miteinander in Kontakt sind, die die zwei Bilder kombiniert, um ein Einzelbild zu ergeben, das mit der Projektionslinse 38' auf die Betrachtungsfläche 40' projiziert wird. Farbshutter 20', 26' werden benutzt, um die Durchlässigkeit der gewählten Lichtwellenlängen auf die jeweiligen Flüssigkristallanzeigen 22', 28' auf selektive Weise zu steuern. Die Shutter 20', 26' verwenden smektische und/oder chirale Flüssigkristallmaterialien, wie in den US-Patentschriften Nr. 5.132.826, 5.231.521 und 5.243.455 von Johnson et al. ausführlicher beschrieben, deren gesamter Inhalt durch Bezugnahme hierin aufgenommen wird. Die Shutter können auch Pi-Zellen, homogene nematische oder andere nematische Konfigurationen sein, die dazu dienen, einen Polarisationsschalter bereitzustellen. Die Shutter 20', 26' können in Kombination verwendet werden, um nacheinander drei Primärfarben durchzulassen, d. h. Rot, Grün und Blau, so dass die zwei Bilder, die von den Anzeigen 22, 28' erzeugt werden, ein Vollfarbenbild ergeben, wenn sie vom Mischer 30' kombiniert werden.

**[0182]** In einer bevorzugten Ausführungsform braucht nur ein Shutter verwendet zu werden, wobei zwischen zwei Primärfarben alterniert wird. In dieser Ausführungsform empfängt eine Anzeige eine von zwei Primärfarben, die an einem gegebenen Zeitpunkt vom Shutter durchgelassen werden, während die andere Anzeige die Durchlässigkeit nur einer Primärfarbe steuert. In einem veranschaulichenden Beispiel dieser Ausführungsform wird der Shutter 26' entfernt und der dichroitische Spiegel 16' richtet blaues Licht entlang des Wegs 14' durch die Anzeige 28', und rotes und grünes Licht werden entlang des Wegs 42' zum Einzelshutter 20' gerichtet, der zwischen zwei Zuständen umschaltet, um nacheinander rotes und grünes Licht auf die Anzeige 22' durchzulassen. Die Anzeige 22' wird mit höherer Geschwindigkeit betrieben als die Anzeige 28', um rote und grüne Einzelbilder für jedes blaue Einzelbild zu erzeugen.

**[0183]** Das in [Fig. 1](#) dargestellte System kann in ein Gehäuse zur Verwendung mit einem Overhead-Projektor eingebaut werden. [Fig. 44](#) zeigt das Gehäuse 108' mit einem Farbshutter-Bilderzeugungssystem, das mit einem Overhead-Projektor 102' verwendet wird. Die Lampe 104' im Inneren des Projektors richtet Licht entlang der Achse 110' durch die Platte 106', die normalerweise ein Transparent, eine Einfarbenanzeige oder eine Farbfilteranzeige trägt.

**[0184]** Das Gehäuse **108'** stellt statt dessen ein Farbbild mit hoher Auflösung bereit, das durch das Linsensystem **112', 114'** des Projektors gerichtet wird.

**[0185]** Das Gehäuse **108'** trägt ein Lichtmodulationssystem wie das in [Fig. 1](#) beschriebene und enthält die Steuerschaltungen zur Steuerung des Lichtmodulationssystems. Das Gehäuse **108'** weist ein Tragelement auf, um das Lichtmodulationselement an seinen Rändern zu tragen, damit dieses Licht modulieren kann, das von der Projektionslichtfläche des Overhead-Projektors durchgelassen wird.

**[0186]** Die obigen Ausführungsformen sind lediglich beispielhaft und schränken die vorliegende Erfindung ein. Die vorliegende Lehre kann leicht auf andere Vorrichtungen angewandt werden. Die Beschreibung der vorliegenden Erfindung dient der Veranschaulichung, ohne den Umfang der Ansprüche zu begrenzen. Dem Fachmann werden zahlreiche Alternativen, Modifikationen und Varianten einfallen.

Tabelle I Filterdesigns

$\alpha, \Gamma$	Stapel 1	Stapel 2
Retarder M		
4	10, $\Gamma$ -20, $\Gamma/2$	-70, $\Gamma/2$ 80, $\Gamma$
4	15, $\Gamma$ -45, $\Gamma/2$	-45, $\Gamma/2$ 75, $\Gamma$
4	80, $\Gamma$ 25, $\Gamma/2$	65, $\Gamma/2$ 10, $\Gamma$
4	60, $\Gamma$ -20, $\Gamma/2$	-70, $\Gamma/2$ 30, $\Gamma$
4	80, $\Gamma$ -25, $\Gamma/2$	-65, $\Gamma/2$ 10, $\Gamma$
4	34, $\Gamma$ 11, $\Gamma$	79, $\Gamma$ 56, $\Gamma$
4	45, $\Gamma$ -22, $\Gamma$	-68, $\Gamma$ 45, $\Gamma$
4	45, $\Gamma/2$ 15, $\Gamma$	75, $\Gamma$ 45, $\Gamma/2$
4	20, $\Gamma/2$ -10, $\Gamma$	-80, $\Gamma$ 70, $\Gamma/2$

Tabelle II Fächerartige Šolc-Designs

$\alpha, \Gamma$	Stapel 1	Stapel 2
Retarder M		
2	22, $\Gamma$	68, $\Gamma$
"3"	15, $\Gamma$ 45, $\Gamma/2$	45, $\Gamma/2$ 75, $\Gamma$
4	11, $\Gamma$ 34, $\Gamma$	56, $\Gamma$ 79, $\Gamma$
"5"	9, $\Gamma$ 27, $\Gamma$ 45, $\Gamma/2$	45, $\Gamma/2$ 63, $\Gamma$ 81, $\Gamma$
6	7, $\Gamma$ 22, $\Gamma$ 37, $\Gamma$	53, $\Gamma$ 68, $\Gamma$ 83, $\Gamma$

Tabelle III Quasi-gefaltete Šolc-Designs

$\alpha, \Gamma$	Stapel 1	Stapel 2
Retarder M		
4	11, $\Gamma$ -11, $\Gamma$	-79, $\Gamma$ 79, $\Gamma$
6	8, $\Gamma$ -8, $\Gamma$ 8, $\Gamma$	82, $\Gamma$ -82, $\Gamma$ 82, $\Gamma$
6	15, $\Gamma$ -15, $\Gamma$ 15, $\Gamma$	75, $\Gamma$ -75, $\Gamma$ 75, $\Gamma$
6	68, $\Gamma$ -68, $\Gamma$ 68, $\Gamma$	22, $\Gamma$ -22, $\Gamma$ 22, $\Gamma$

Tabelle IV Split-Element-Design

Weiß/Cyan		
$\alpha, \Gamma$		
Retarder M	Stapel 1	Stapel 2
3	$45, \Gamma + \pi/2$	$0, \Gamma$

Tabelle V Gemessene Filterdesigns

	$\alpha, \Gamma$			$\lambda(\text{nm})$	
Farbe	Stapel 1	LCD	Stapel 2	Stapel	LCD
Grün/Weiß	$15,2\lambda$ $45,1\lambda$	$0, \lambda/2$	$45,1\lambda$ , $75,2\lambda$	540	540
Weiß/Cyan	$12, \lambda$ $-12, \lambda$ $12, \lambda$	$0, \lambda/2$	$-78, \lambda$ $78, \lambda$ $-78, \lambda$	450	650
Weiß/ Magenta	$82,21$ $-82,2\lambda$ $82,2\lambda$	$0, \lambda/2$	$-8,2\lambda$ $8,2\lambda$ $-8,2\lambda$	435	540
Weiß/Gelb	$80,2\lambda$ $-25, \lambda$	$0, \lambda/2$	$65, \lambda$ $-10,2\lambda$	600	430

Tabelle VI Spezifische Designs Weiß/subtraktive Primärfarbe

	$\alpha, \Gamma$			$\lambda(\text{nm})$	
Color	Stapel 1	LCD	Stapel 2	Stapel	LCD
W/C	$10, \lambda$ $-12, \lambda$ $10, \lambda$	$0, \lambda/2$	$-80, \lambda$ $78, \lambda$ $-80, \lambda$	450	660
W/M	$8, \lambda$ $-8, \lambda$ $8, \lambda$	$0, \lambda/2$	$-82, \lambda$ $82, \lambda$ $-82, \lambda$	760	540
W/Y	$80,2\lambda$ $-25, \lambda$	$0, \lambda/2$	$65, \lambda$ $-10,2\lambda$	590	440
M/W	$45, \lambda + \lambda/4$ $0, \lambda$	$90, \lambda/2$	$45, \lambda + \lambda/4$	540	540

Tabelle VII Dreistufige Filterausgabe

Stapel			Ausgabe	
Weiß/Gelb	Weiß/ Magenta	Weiß/Cyan	$\uparrow \downarrow$	$\uparrow \leftarrow$
0	0	0	Schwarz	Weiß
0	0	1	R	C
0	1	0	G	M
1	0	0	B	Y
1	1	0	C	R
1	0	1	M	G
0	1	1	Y	B
1	1	1	Weiß	Schwarz

### Patentansprüche

1. Eine Einrichtung zum Empfangen oder Manipulieren von wenigstens teilweise polarisiertem Licht, aufweisend:  
einen Retarderstapel (**290, 20**) zur Vorbehandlung von wenigstens teilweise polarisiertem Licht für eine Eingabe an einen Modulator; und  
einen Modulator (**10**) zum Empfangen des ausgegebenen Lichts und mit einem Modulatorzustand der Polarisierung und einem isotropen Zustand der Polarisierung, wobei der Modulationszustand der Polarisierung eine Ein-

gangspolarisation ist, für welche der transmittierte Zustand der Polarisation von der Spannung abhängt, welche an den Modulator angelegt ist und der isotrope Zustand einer Polarisation eine Eingangspolarisation ist, für welche der transmittierte Zustand einer Polarisation im wesentlichen unabhängig von der an den Modulator angelegten Spannung sein wird;

wobei der Retarderstapel ausgebildet ist, um das wenigstens teilweise polarisierte Licht in den Modulationszustand der Polarisation des Modulators und den isotropen Zustand der Polarisation des Modulators vorzubehandeln; und aufweisend;

einen ersten Retarder (291) mit einer ersten Retardierung und einer ersten Orientierung bezüglich des wenigstens teilweise polarisierten Lichts zum Empfangen des wenigstens teilweise polarisierten Lichts und Ausgeben von anfänglich transformiertem Licht; und

einen zweiten Retarder (292) mit einer zweiten Retardierung und einer zweiten Orientierung bezüglich dem wenigstens teilweise polarisierten Licht zum Empfangen des anfänglich transformierten Lichts und Ausgeben von Ausgabelicht mit einem ersten Anteil von Ausgabelicht mit einem vorgegebenen ersten Spektrum und einem zweiten Anteil von Ausgabelicht mit einem vorgegebenen zweiten Spektrum, wobei die ersten und die zweiten Orientierungen und die ersten und zweiten Retardierungen derart ausgewählt sind, dass der erste Anteil von Ausgabelicht in dem Modulationszustand der Polarisation ist und der zweite Anteil von Ausgabelicht in dem isotropen Zustand der Polarisation ist;

wobei das vorgegebene erste Spektrum und das vorgegebene zweite Spektrum Komplemente voneinander sind.

2. Die Einrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die ersten und zweiten Orientierungen verschieden sind.

3. Die Einrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Polarisation des ersten Anteils von Ausgabelicht und die Polarisation des zweiten Anteils von Ausgabelicht orthogonal sind.

4. Die Einrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das wenigstens teilweise polarisierte Licht sichtbares Licht oder nicht-sichtbares Licht enthält, vorzugsweise teilweise linear polarisiert.

5. Die Einrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei wenigstens einer der ersten Retarder und zweiten Retarder ein doppelbrechendes Material enthält.

6. Die Einrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das wenigstens teilweise polarisierte Licht wenigstens teilweise mit einer Polarisationsrichtung linear polarisiert ist, oder wenigstens teilweise zirkular polarisiert ist.

7. Die Einrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Modulator (10) einen elektro-optischen Modulator aufweist, einen Flüssigkristall oder nematischen Flüssigkristall; einen twisted-nematisch (TN), super-twist-nematisch (STN), einen elektrisch gesteuerten doppelbrechenden (ECB) oder ein Hybrid-Feldeffekt (HFE) Material; eine Oberflächenmodeneinrichtung; eine Pi-Zelle oder eine Zero-Twist-Modus oder eine Hybridmoduseffekt oder eine polymerdispergiert Flüssigkristalleinrichtung; einen smektischen Flüssigkristall; SmC\*; eine oberflächenstabilisierten FLC oder einen volumenstabilisierten FLC; oder einen SmA\*-elektrokinetischen, verzerrt-helikalen ferroelektrischen, anti-ferroelektrischen, flexoelektrischen und achiral-ferroelektrischen Flüssigkristall.

8. Die Einrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Modulator (10) aufweist: einen magnooptischen Modulator, einen Reflexionstypmodulator, einen Transmissionstypmodulator oder einen Phasenmasken-Typmodulator.

9. Die Einrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Retarderstapel ein erster Retarderstapel (20) ist, wobei die Einrichtung ferner einen zweiten Retarderstapel (30) zum Empfangen von Licht von dem Modulator aufweist, wobei die Retarder in dem ersten Retarderstapel einen ersten Satz von Orientierungen und einen ersten Satz von Retardierungen und die Retarder in dem zweiten Stapel einen zweiten Satz von Orientierungen und einen zweiten Satz von Retardierungen aufweisen.

10. Die Einrichtung gemäß Anspruch 9, wobei der erste Retarderstapel (20), der Modulator (10) und der zweite Retarderstapel (30) derart angeordnet sind, dass der Modulator wenigstens einen Zustand hat, in welchem weder ein erstes Spektrum noch ein zweites Spektrum moduliert werden und wenigstens einen Zustand in dem eines von dem ersten Spektrum und dem zweiten Spektrum moduliert wird, jedoch nicht das andere, wobei vorzugsweise das zweite Spektrum ein Komplement des ersten Spektrums ist.

11. Die Einrichtung gemäß Anspruch 9 oder 10, wobei die ersten und zweiten Sätze von Orientierungen der ersten und zweiten Retarderstapel (20, 30) verschieden sind.

12. Ein Spektralfilter zur Verwendung mit wenigstens teilweise polarisiertem Licht, aufweisend einen oder mehrere weiß/gefilierte Stufen in Serie, wobei jede Stufe aufweist:  
 einen Modulator (10), der zwischen einem ersten und einem zweiten Schaltzustand schaltbar ist und mit einem Modulationszustand der Polarisation und einem isotropen Zustand der Polarisation, wobei der Modulationszustand einer Polarisation eine Eingangspolarisation ist, für welche der transmittierte Zustand der Polarisation von der Spannung abhängt, welche an den Modulator angelegt ist und der isotrope Zustand von Polarisation ein Eingangszustand ist, für welchen der transmittierte Zustand der Polarisation im wesentlichen unabhängig von der an den Modulator angelegten Spannung ist;  
 einen ersten Retarderstapel (20), angeordnet zum Vorbehandeln des wenigstens teilweise polarisierten Lichts in den Modulationszustand der Polarisation des Modulators und des isotropen Zustands der Polarisation des Modulators, wobei der erste Retarderzustand auf einer ersten Seite des Modulators angeordnet ist und zwei oder mehr Retarder aufweist, wobei die Anzahl N der Retarder und der Retardierungen und Orientierungen der Retarder derart ist, dass ein erstes Spektrum in dem Modulationszustand der Polarisation transmittiert wird und ein zweites, komplementäres Spektrum in dem isotropen Zustand der Polarisation transmittiert wird, und einem zweiten Retarderstapel (30), der auf der gegenüberliegenden Seite des Modulators angeordnet ist, aufweisend N Retarder, wobei die Retardierungen und Orientierungen der Retarder derart sind, dass in dem ersten Schaltzustand die ersten und zweiten Spektren in orthogonalen Zuständen von Polarisation transmittiert werden.

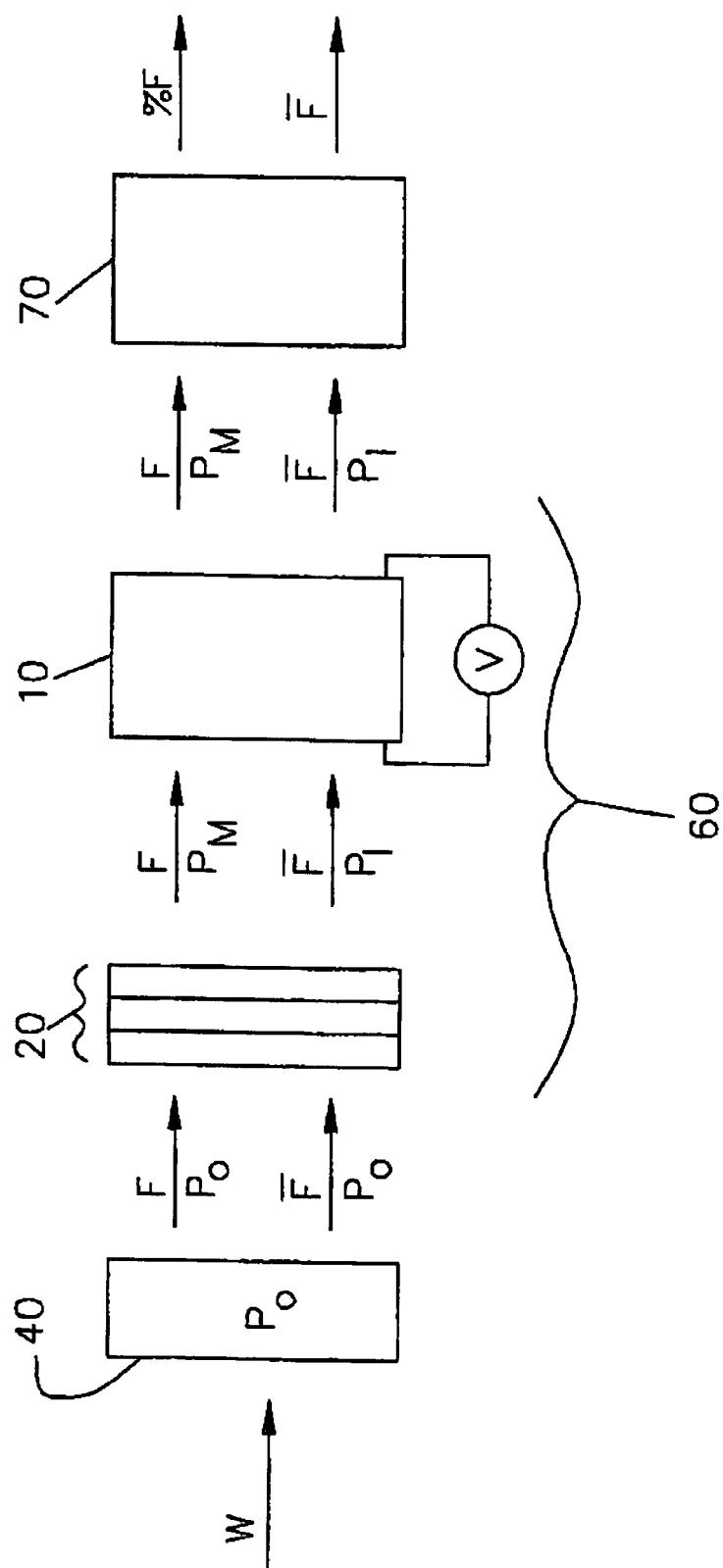
13. Der Filter gemäß Anspruch 12, ferner aufweisend einen Analyse-Polarisator in Serie mit den Stufen und/oder einen Eingangspolarisator in Serie mit den Stufen, wobei der Analyse-Polarisator vorzugsweise ein Linearpolarisator oder Cirkularpolarisator ist, vorzugsweise aus der Gruppe bestehend aus Absorptions-, Diachroitischen, farbstoffbasierten, nicht-absorbierenden, polarisierenden dielektrischen Film-, polarisierenden Strahleiter-, Kalkspat-, Quarz-, Streu- und prismatischen Polarisatoren ist.

14. Der Filter gemäß Anspruch 12, wobei die N Retarder (21, 22, 23) des ersten Retarderstapels (20) Retardierungen  $G_1, G_2 \dots G_N$  und Orientierungen  $a_1, a_2 \dots a_N$  haben, und wobei die N Retarder (33a, b, 32a, b, 31a, b), des zweiten Retarderstapels (30) Retardierungen  $G_N, G_2 \dots G_1$  und Orientierungen  $90 \pm a_N \dots 90 \pm a_2, 90 \pm a_1$  haben.

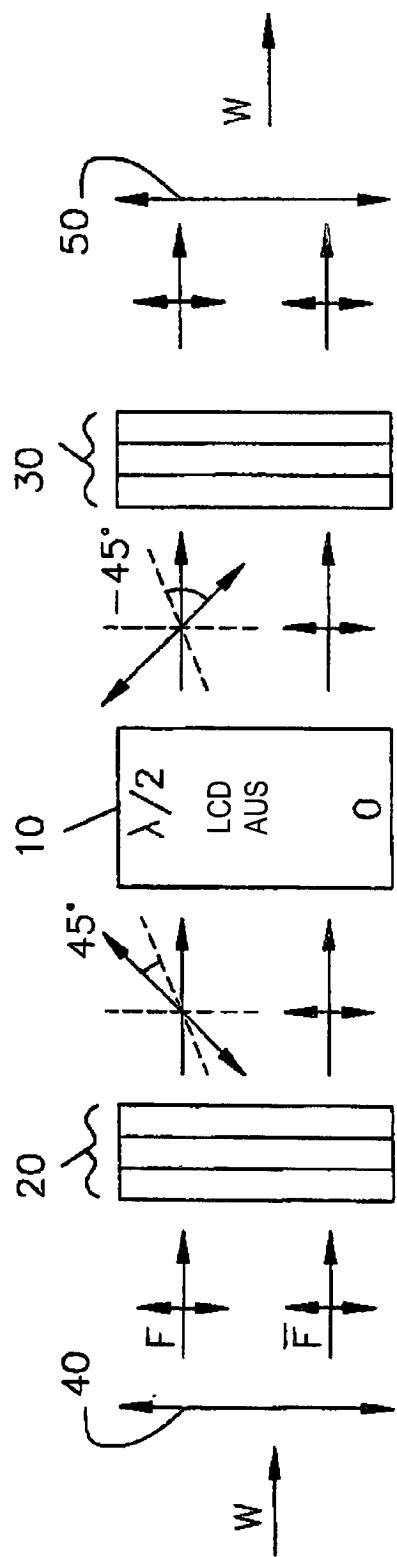
15. Der Filter gemäß Anspruch 14, wobei  $N = 2$  und  $G_1 = G_2$ ; oder  
 wobei  $N = 2$  und  $G_1 = 2G_2$ ; oder  
 wobei  $N = 2$  und  $G_2 = 2G_1$ ; oder  
 wobei  $a_N = (2N - 1)a_1$ ; und  
 wobei  $N = 1$  und  $a_N = 22^\circ$ ; oder  
 wobei  $N = 2, G_1 = G_2$  und  $a_1 = 11^\circ$ ; oder  
 wobei  $N = 2, G_1 = 2G_2$  und  $a_1 = 15^\circ$ ; oder  
 wobei  $N = 3, G_1 = G_{2-r}^3$  und  $a_1 = 7^\circ$ ; oder  
 wobei  $N = 3, G_1 = G_{2-2r}^3$  und  $a_1 = 9^\circ$

16. Der Filter gemäß Anspruch 14, wobei  $a_N = (-1)^{N+1}a_1$ ; und  
 wobei  $N = 2, G_1 = G_2$  und  $a_1 = 11^\circ$ ; oder  
 wobei  $N = 3, G_1 = G_{2-4}^3$  und  $a_1 = 8^\circ$ ; oder  
 wobei  $N = 3, G_1 = G_{2-r}^3$  und  $a_1 = 15^\circ$ ; oder  
 wobei  $N = 3, G_1 = G_{2-r}^3$  und  $a_1 = 22^\circ$ .

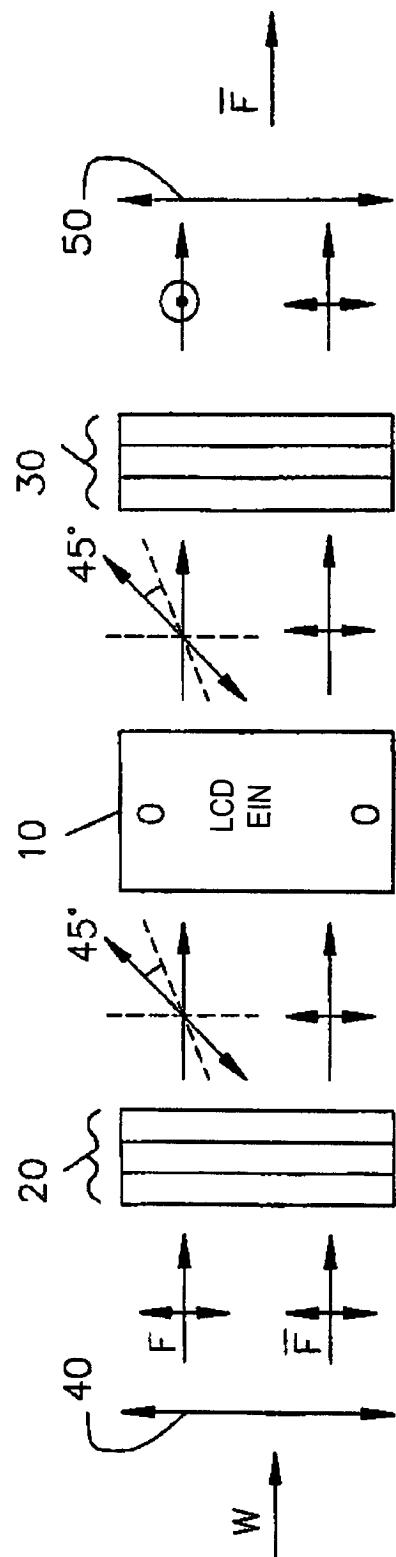
Es folgen 40 Blatt Zeichnungen



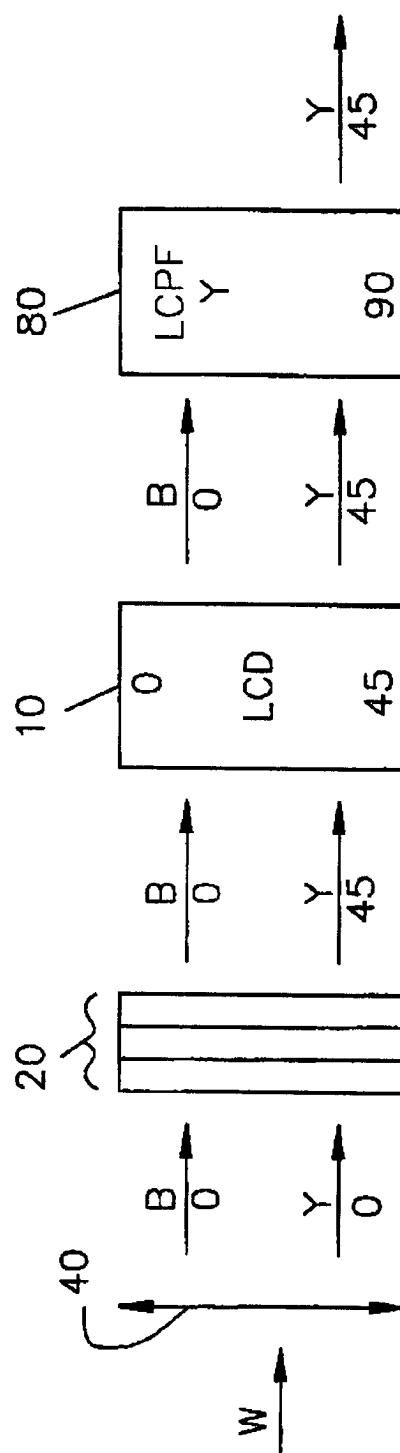
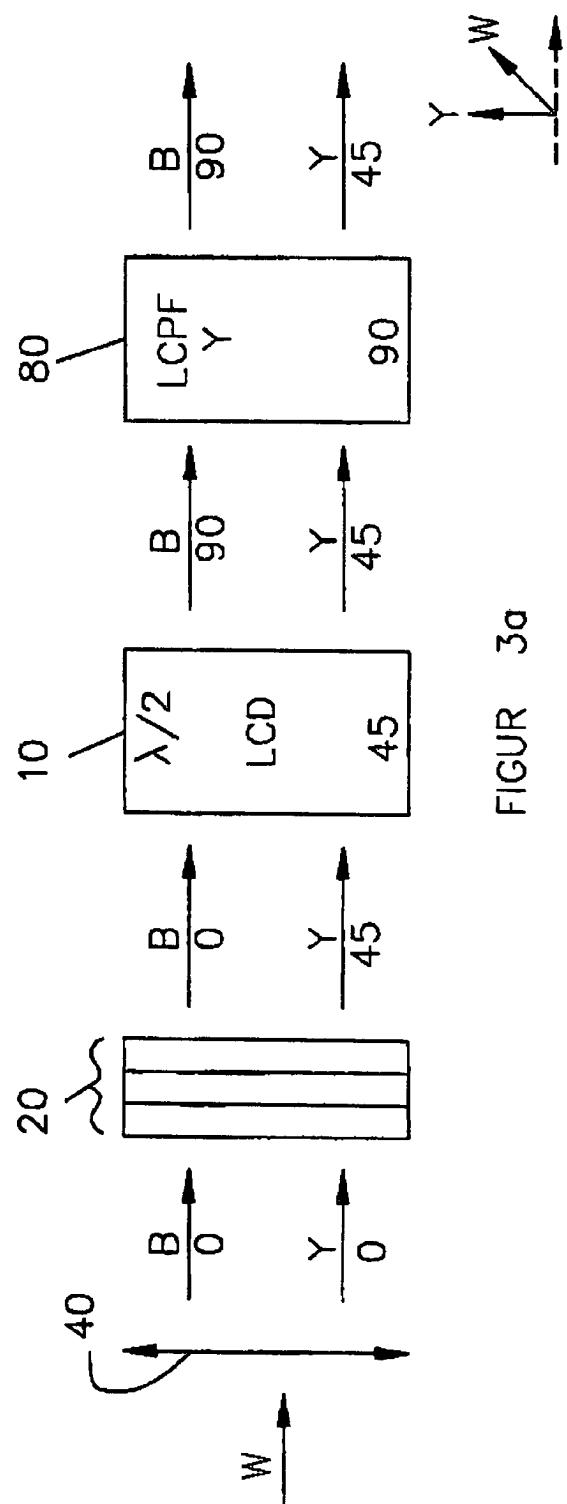
FIGUR 1

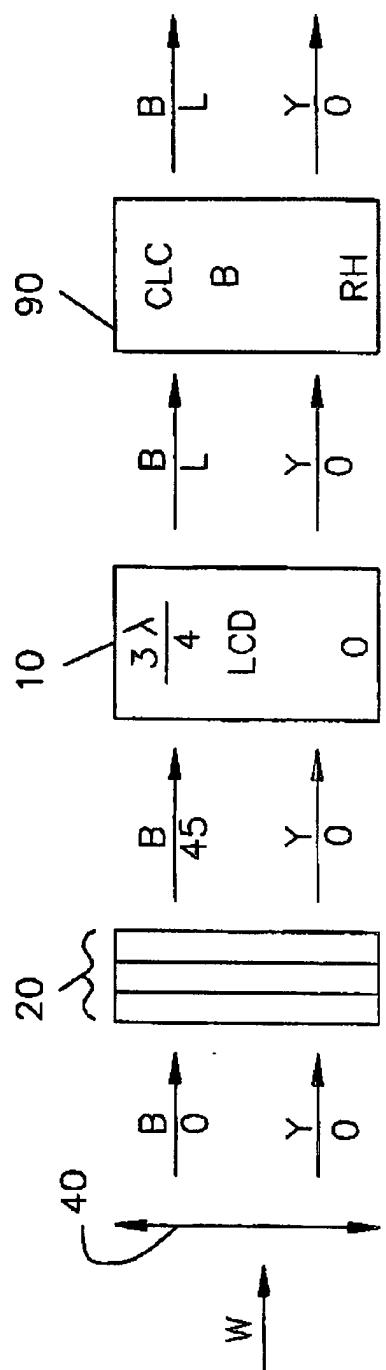


## FIGUR 2a

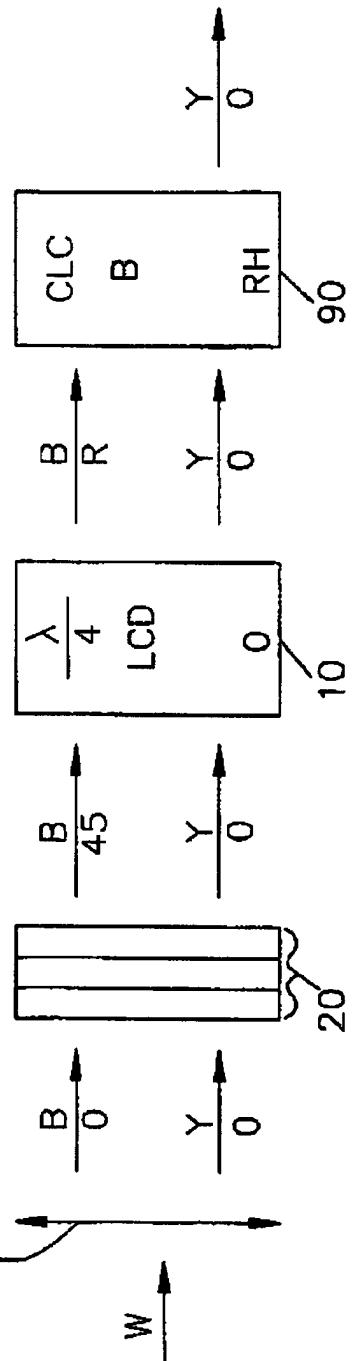


FIGUR 2b

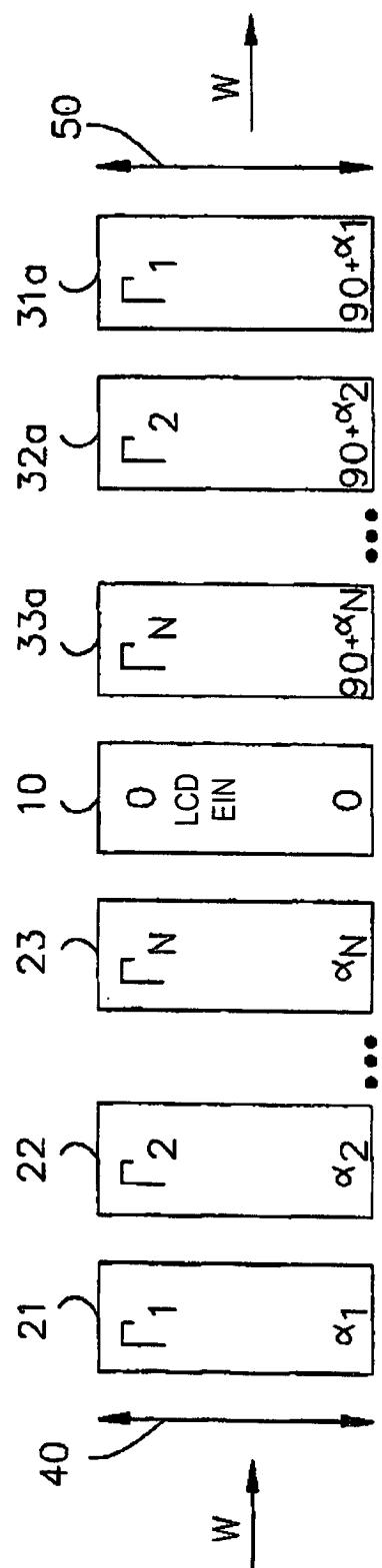




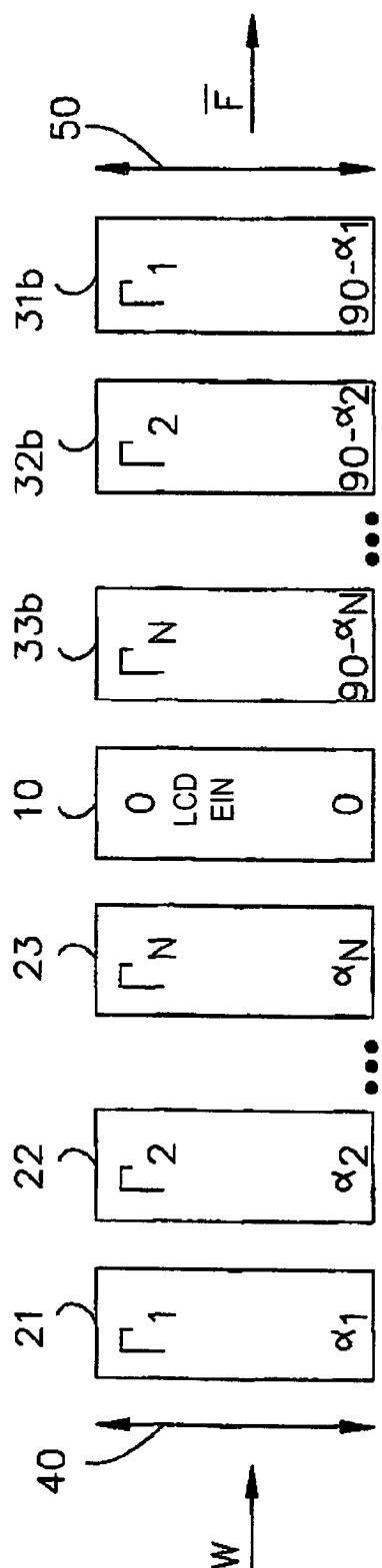
FIGUR 4a



FIGUR 4b



FIGUR 5



FIGUR 6

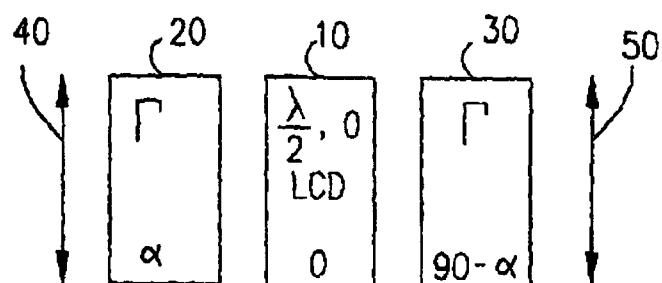


FIG. 7a

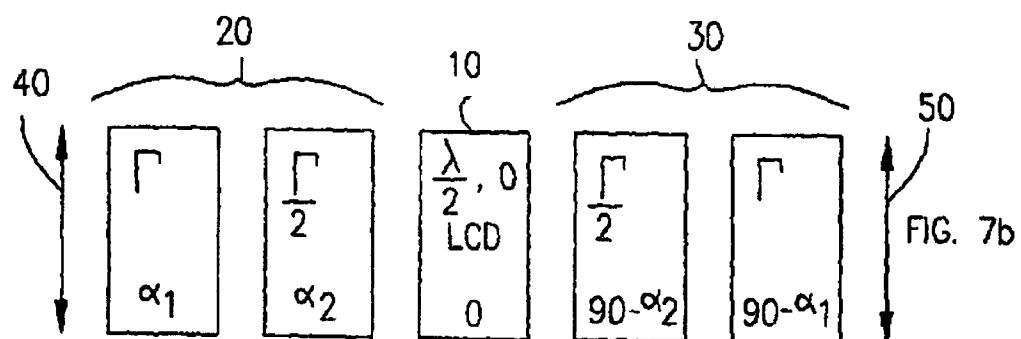


FIG. 7b

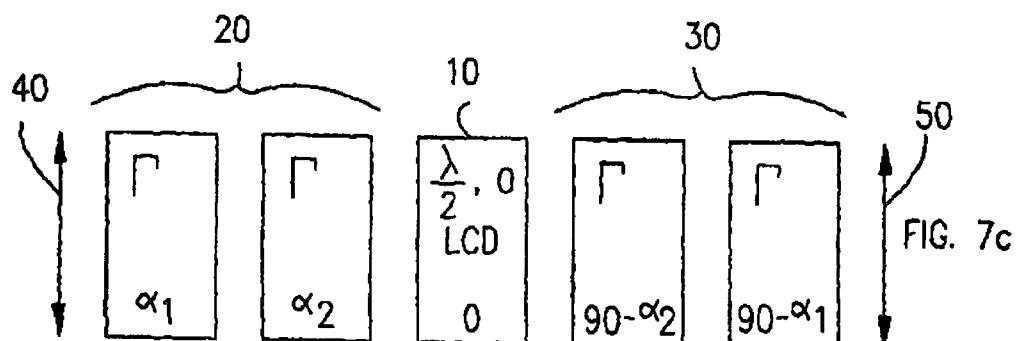


FIG. 7c

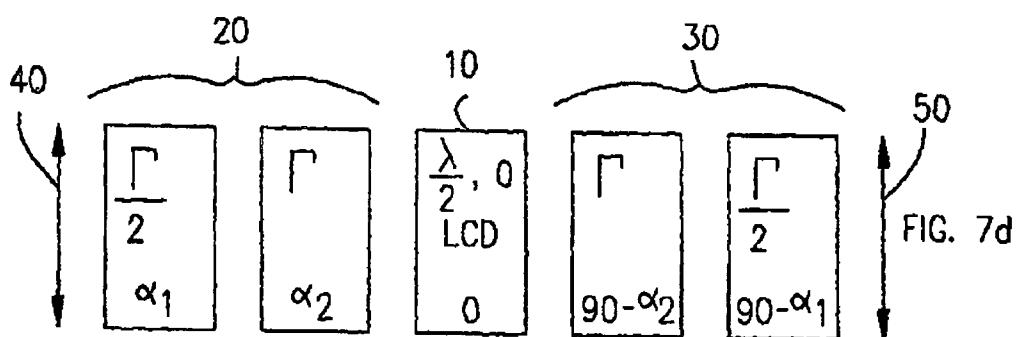
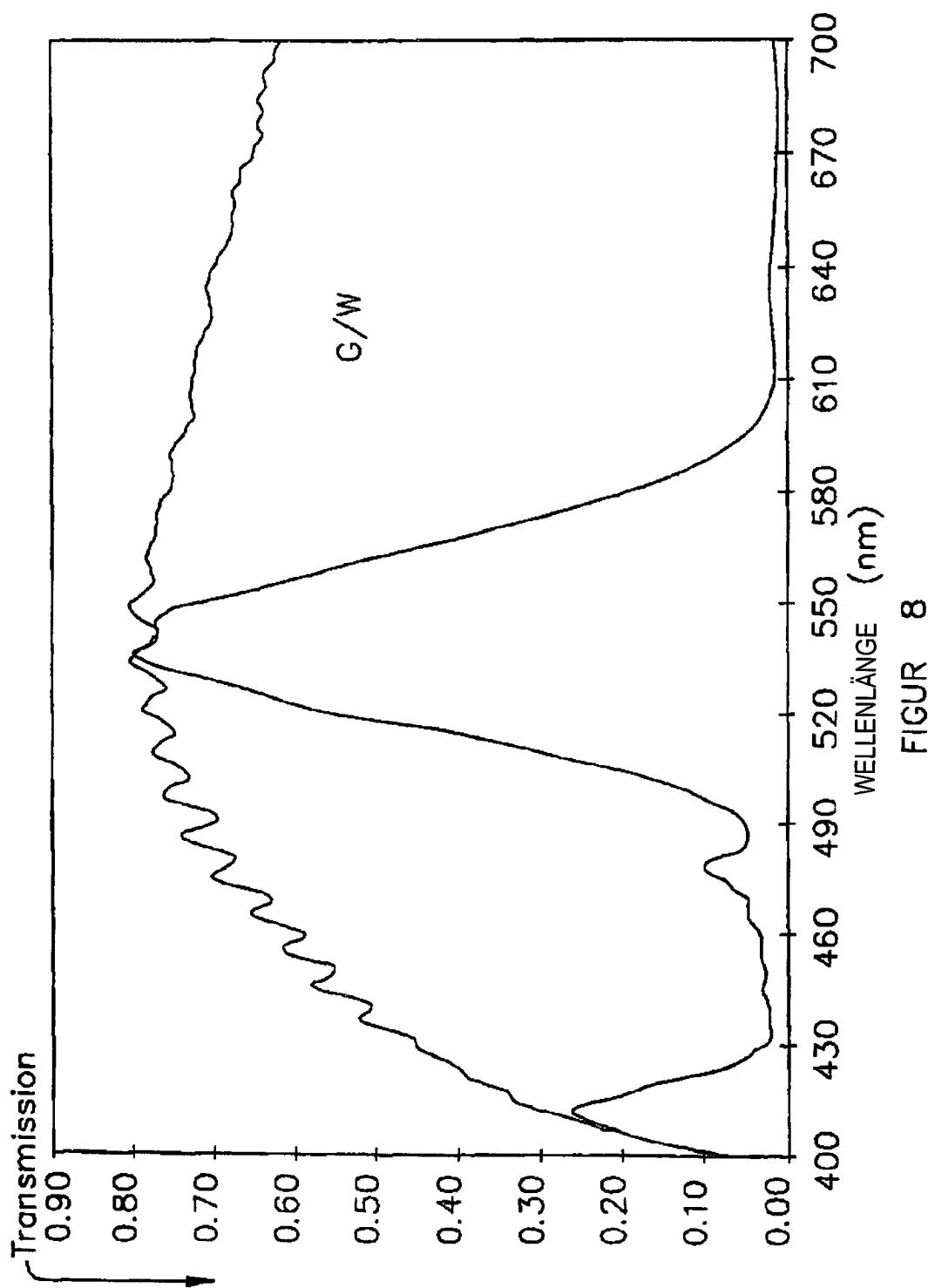
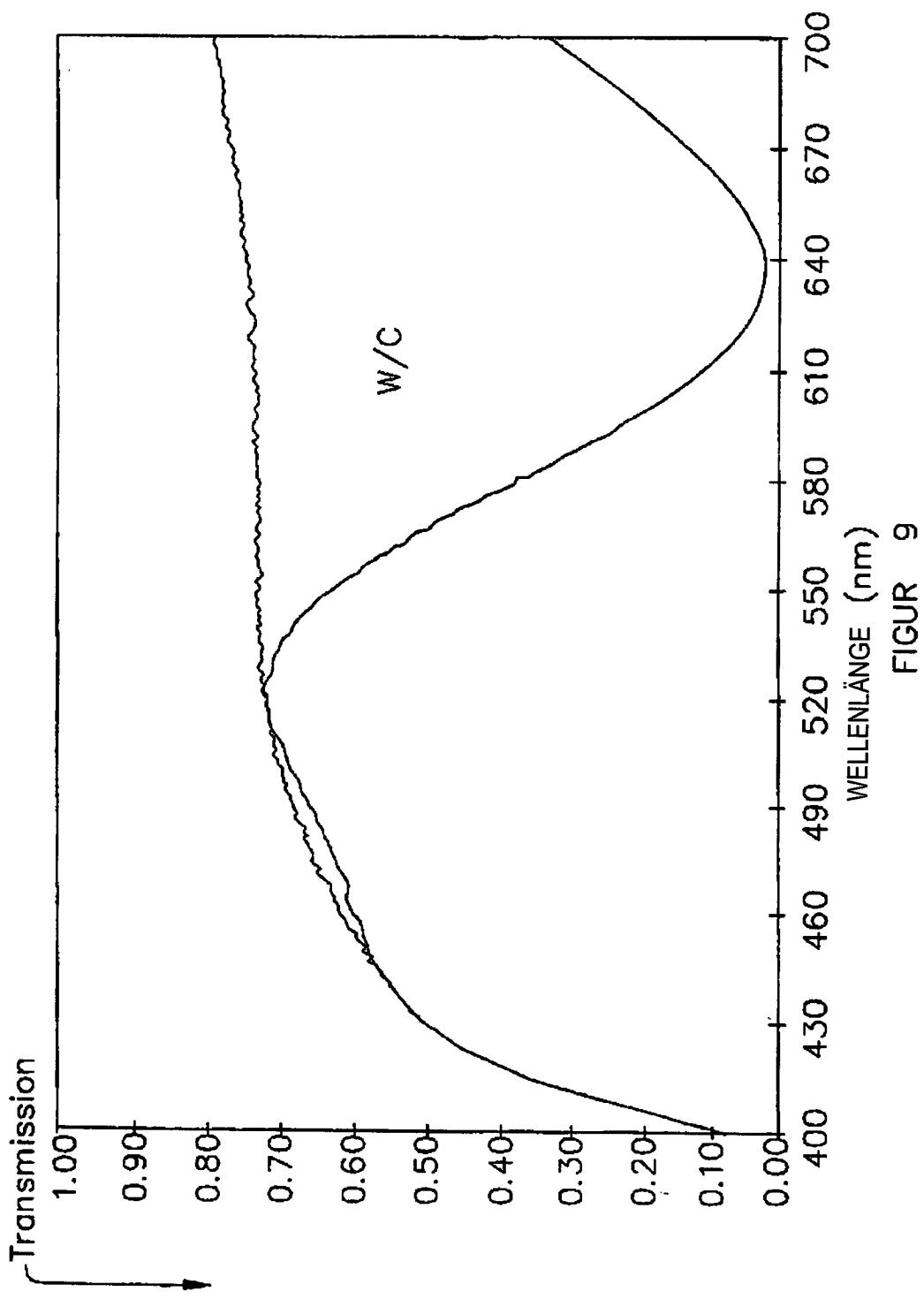
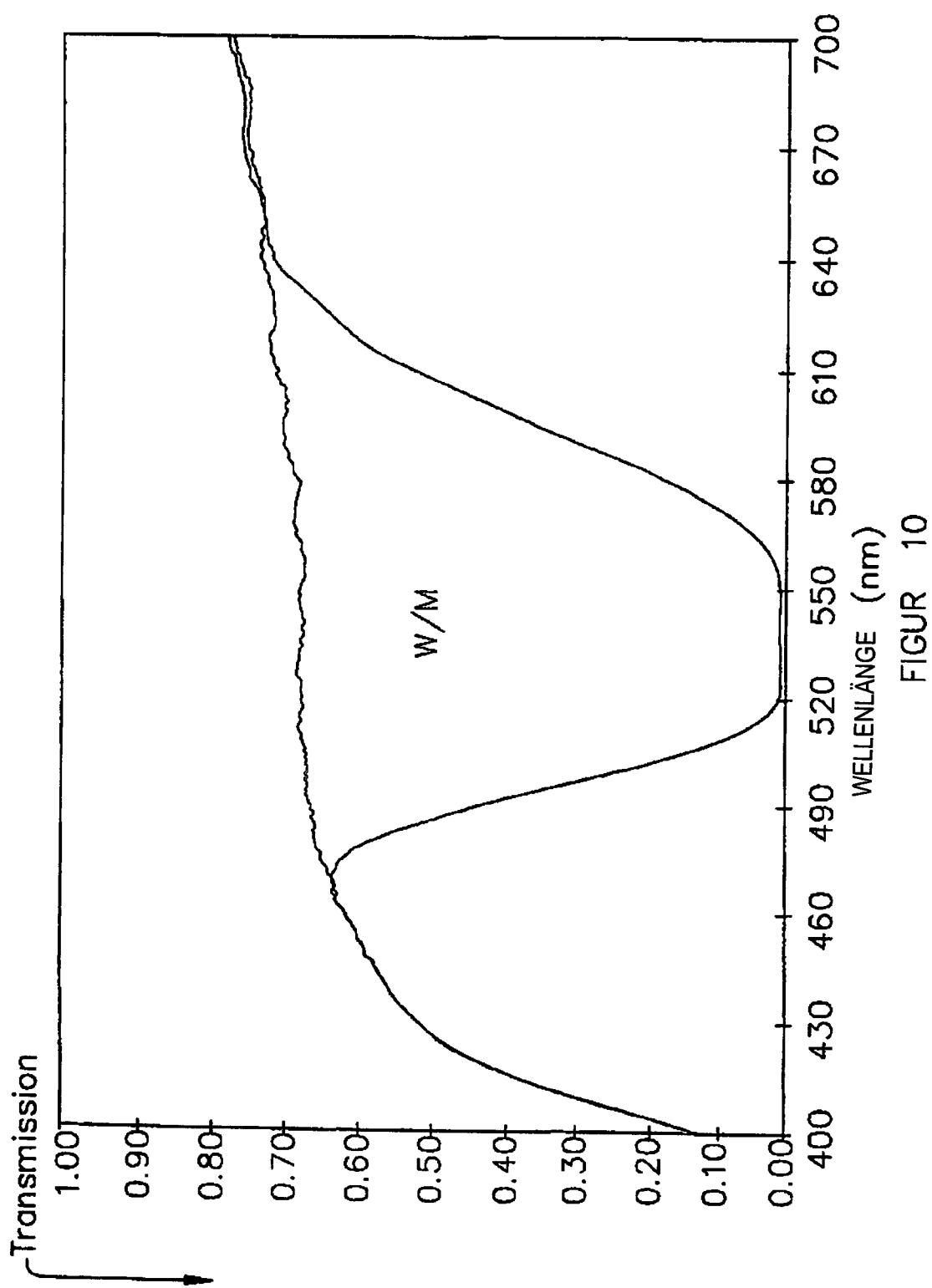


FIG. 7d



FIGUR 8





FIGUR 10

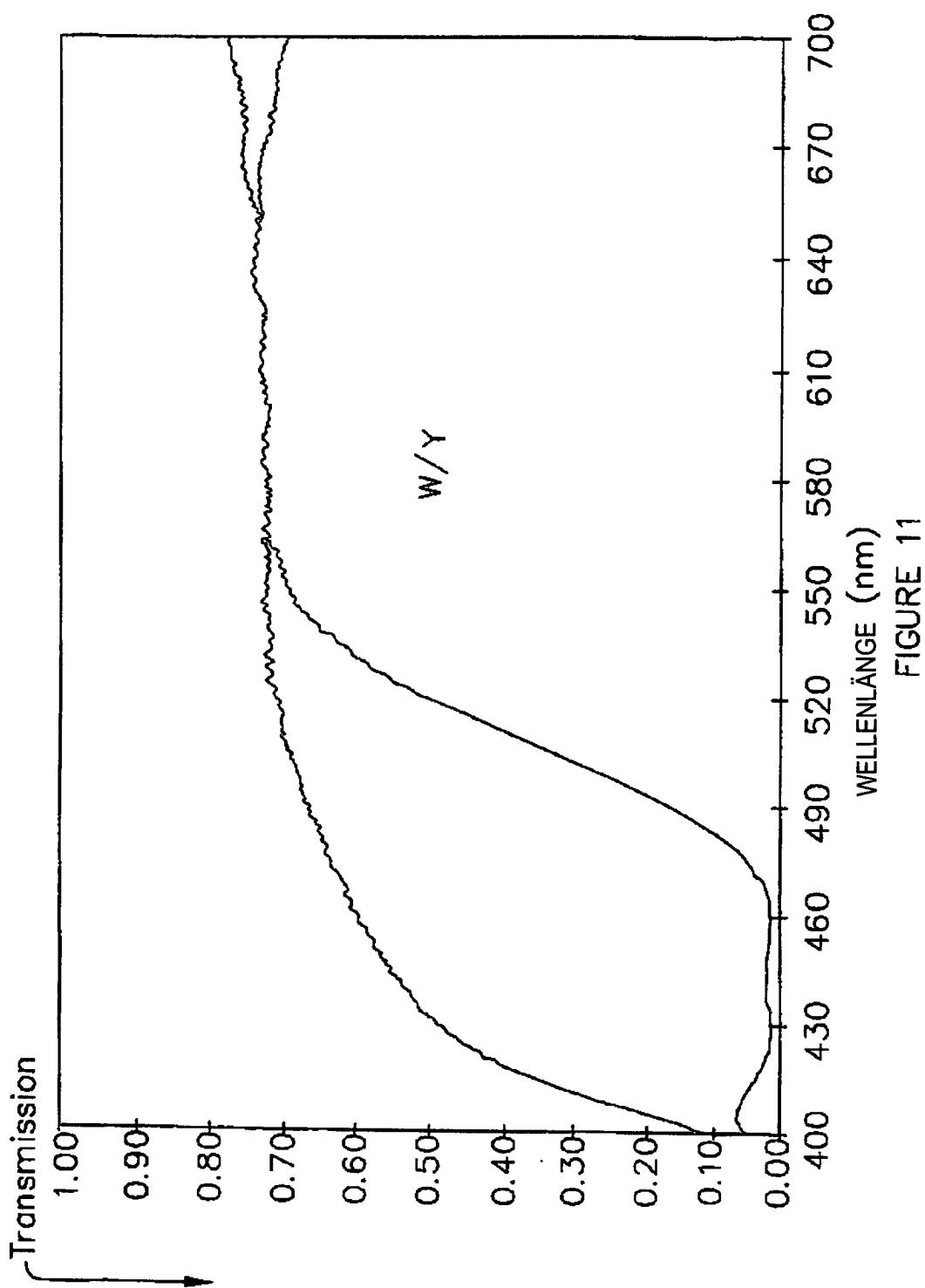
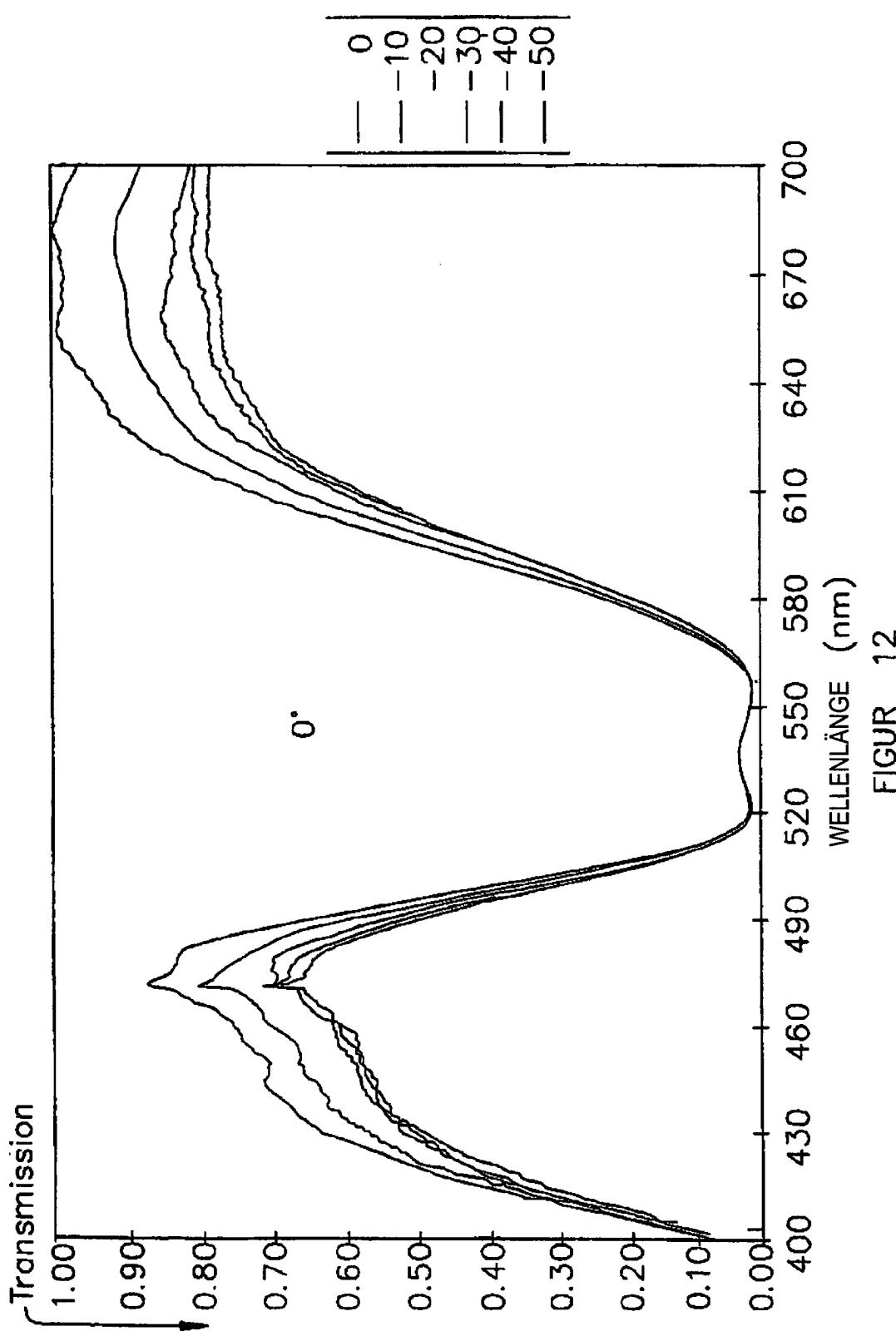
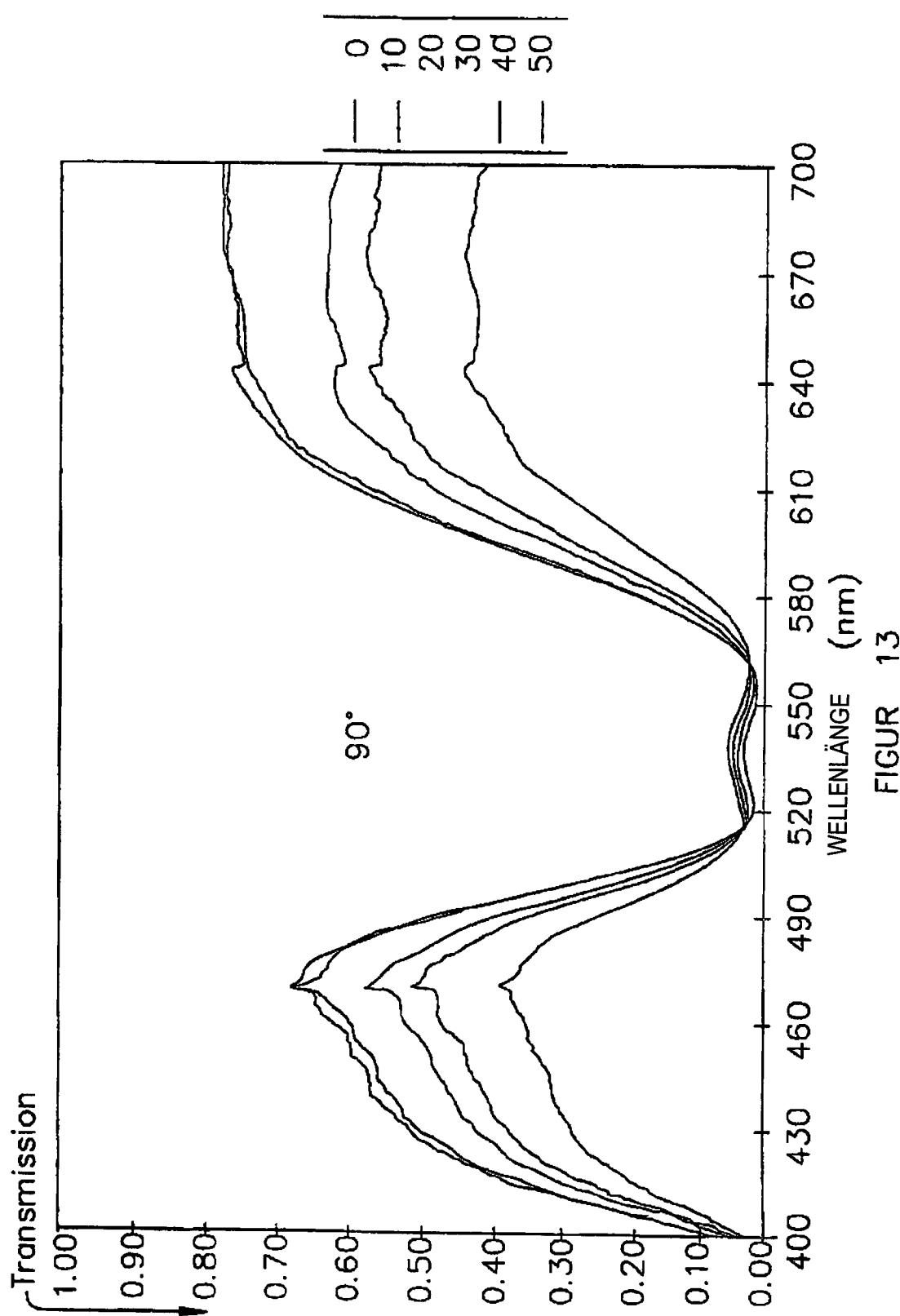
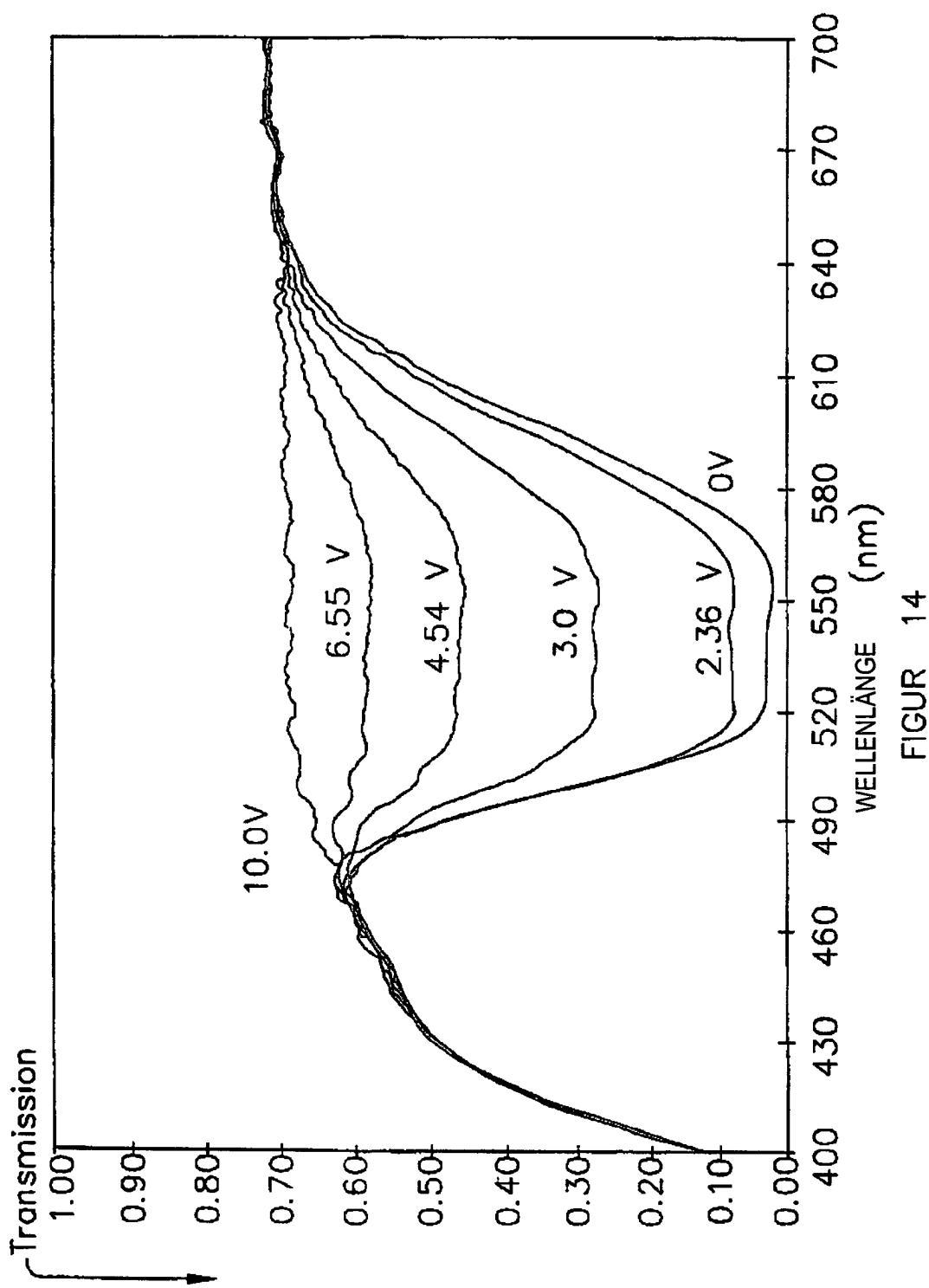


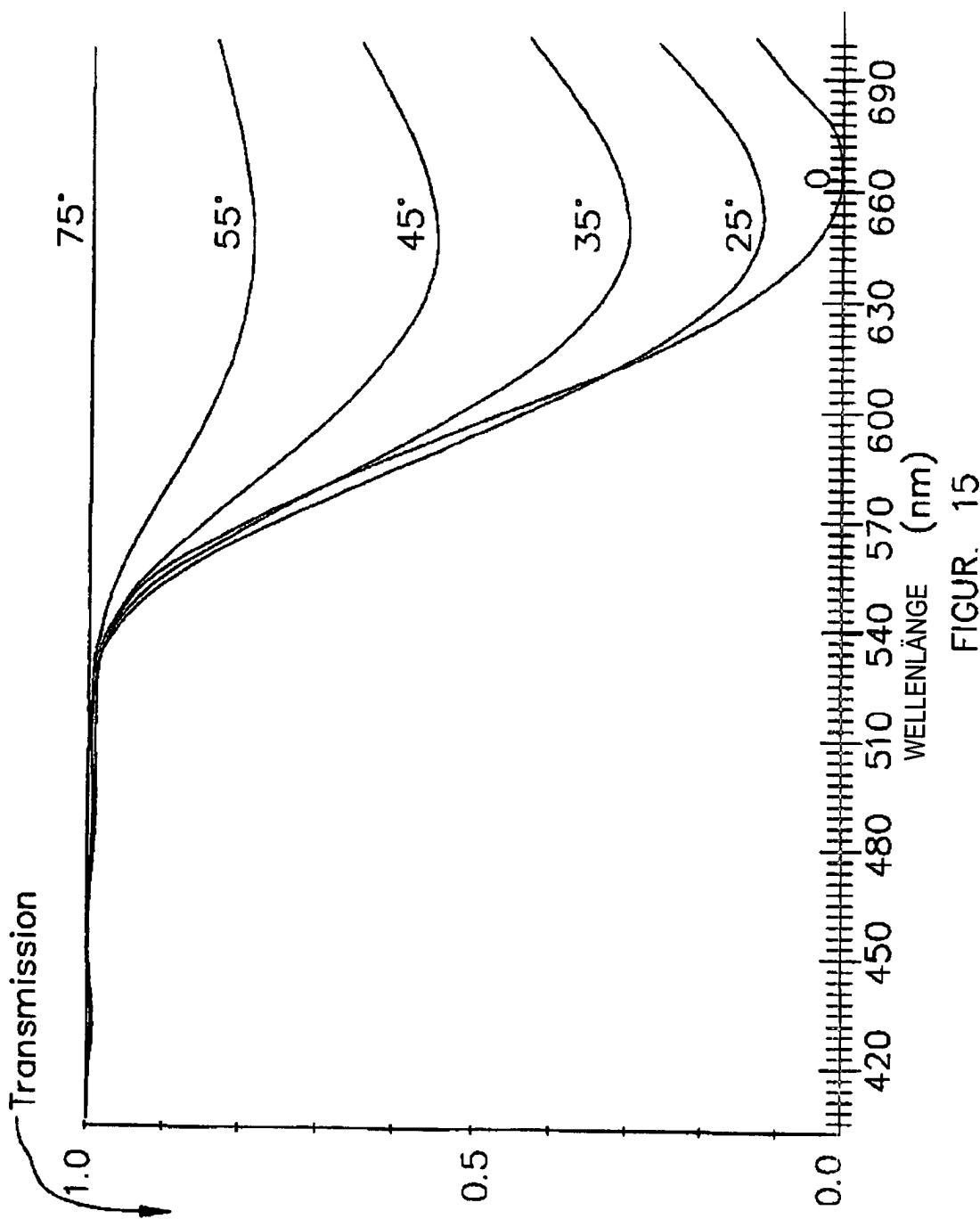
FIGURE 11



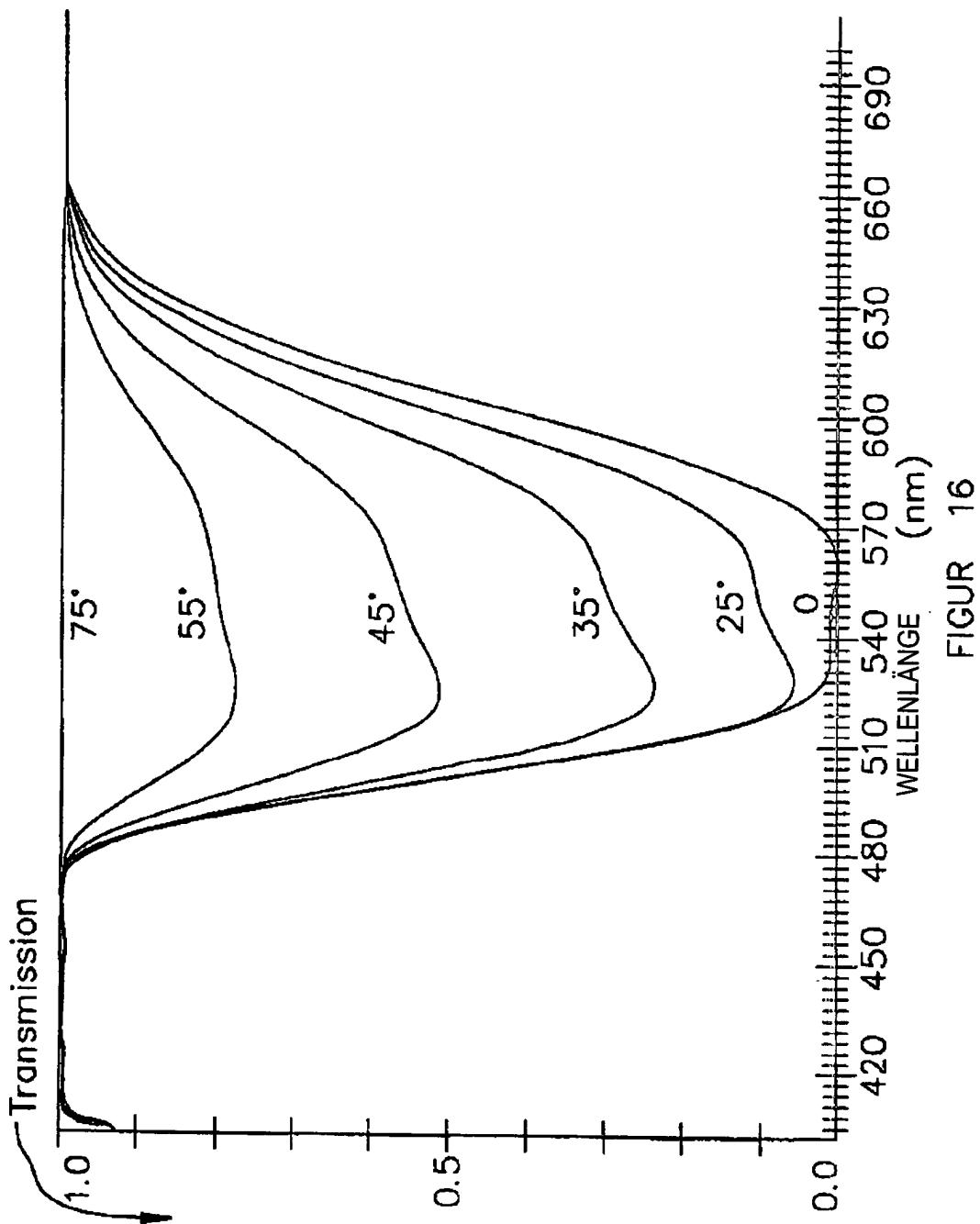




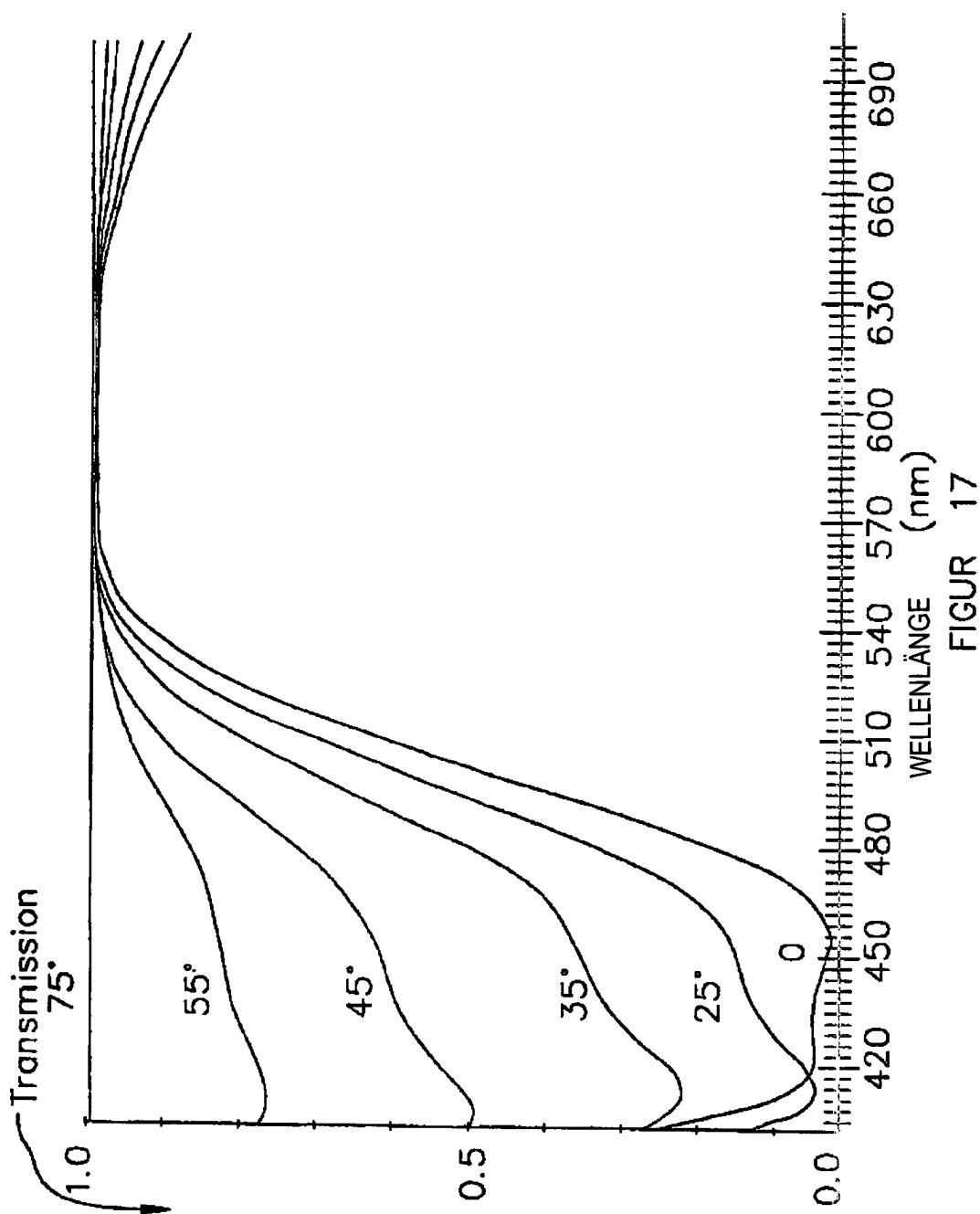
FIGUR 14



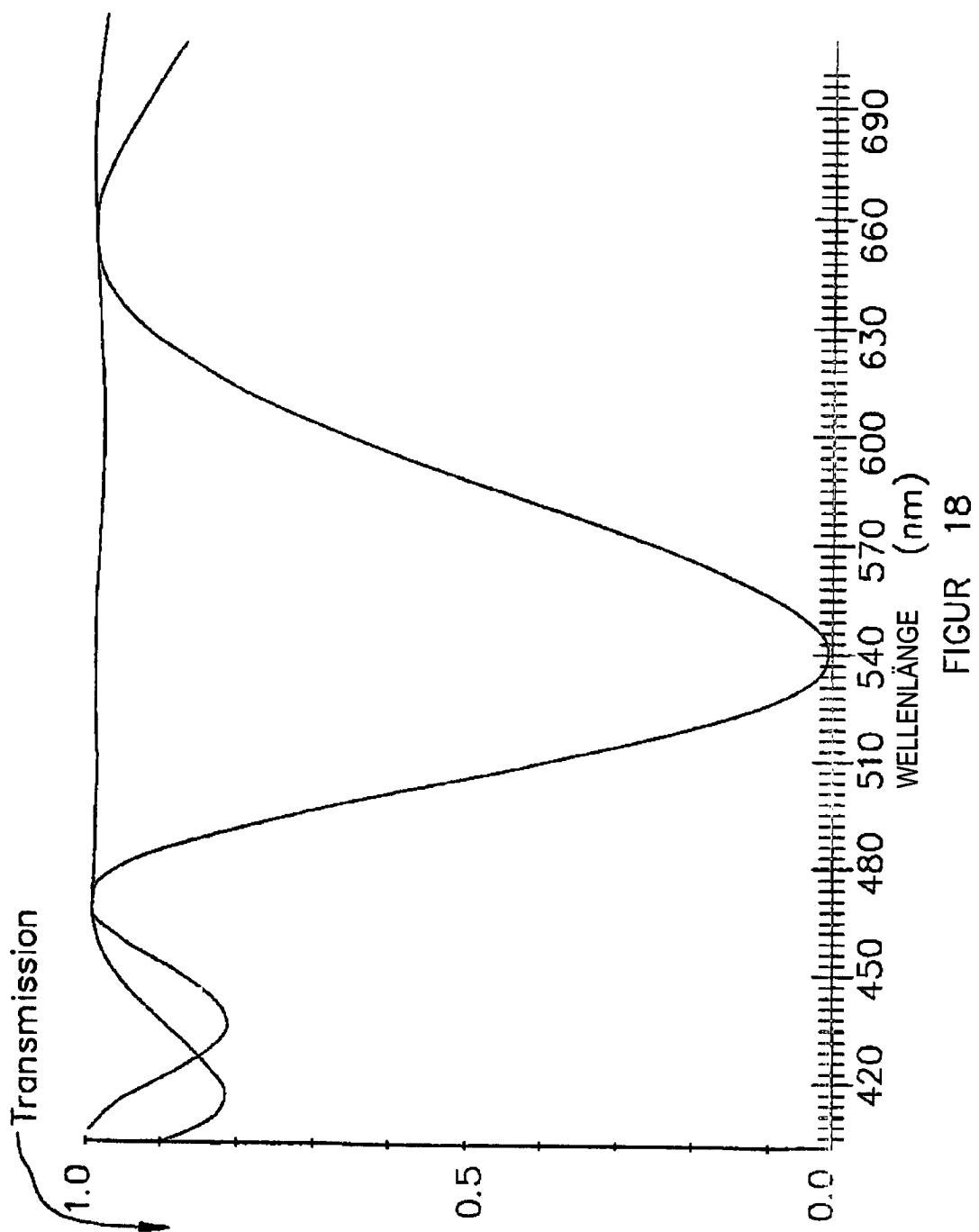
FIGUR. 15



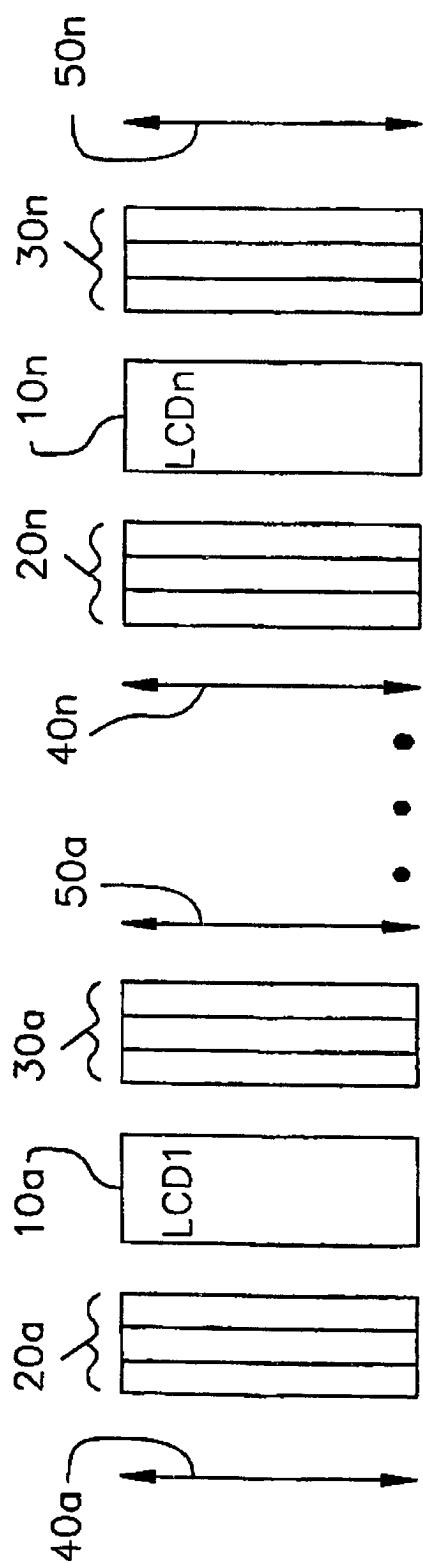
FIGUR 16



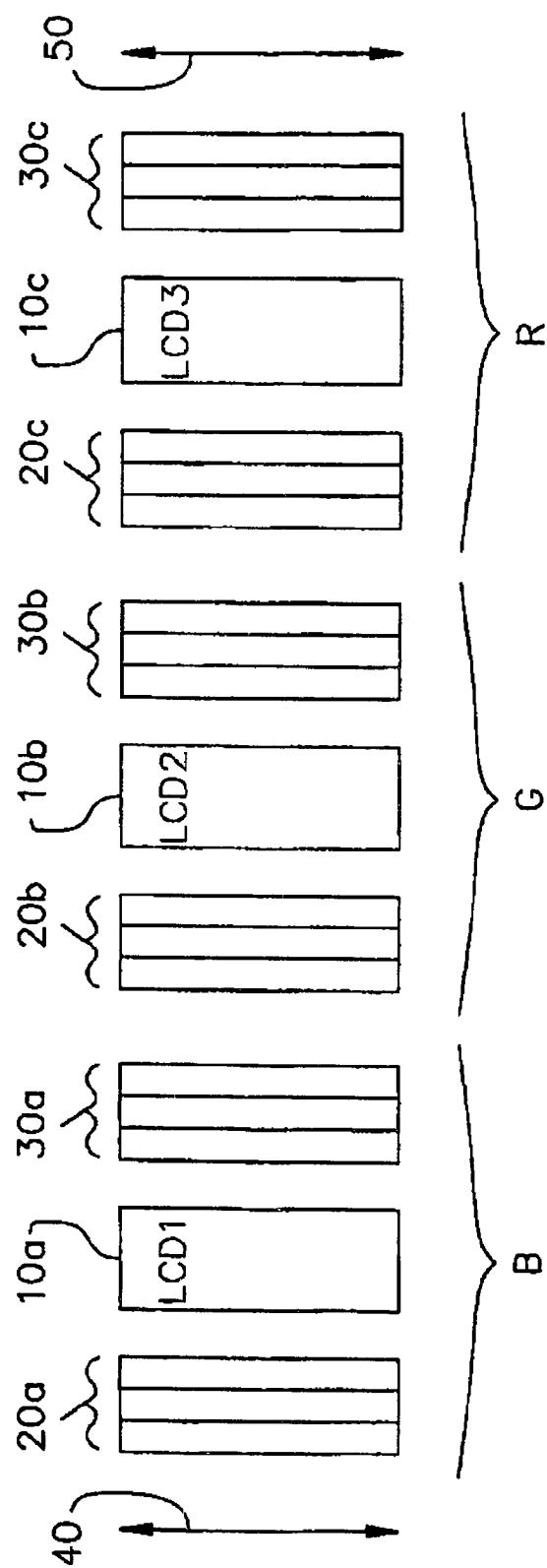
FIGUR 17



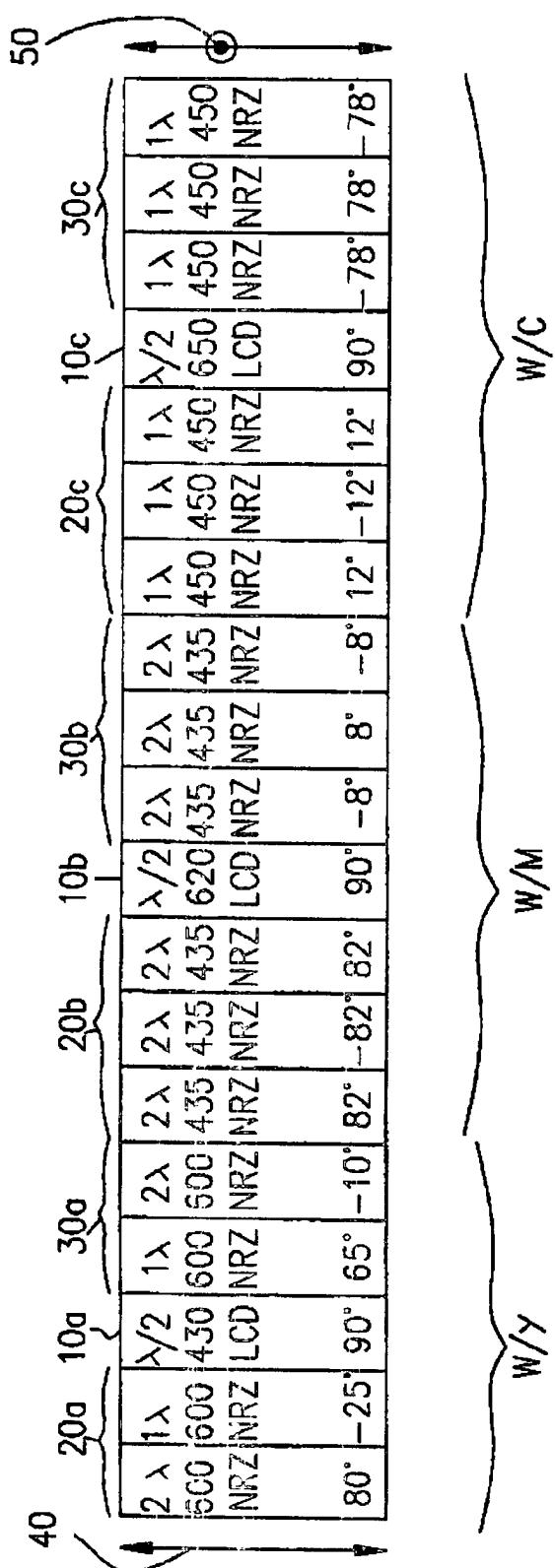
FIGUR 18



FIGUR 19

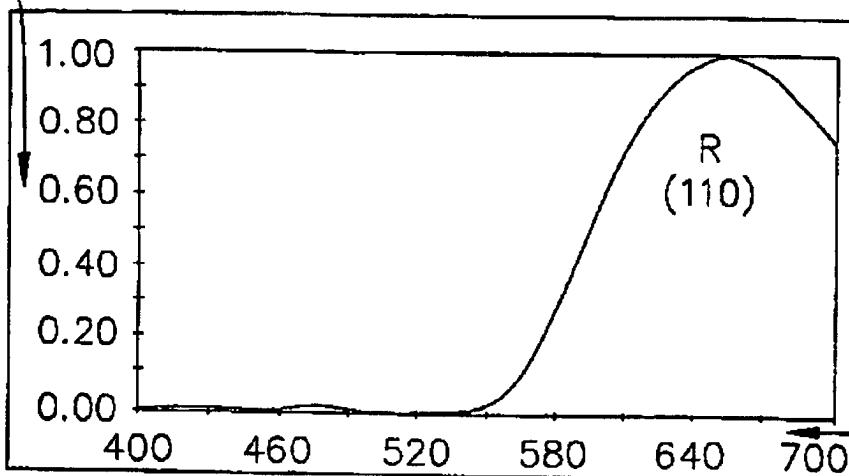


FIGUR 20



FIGUR 21

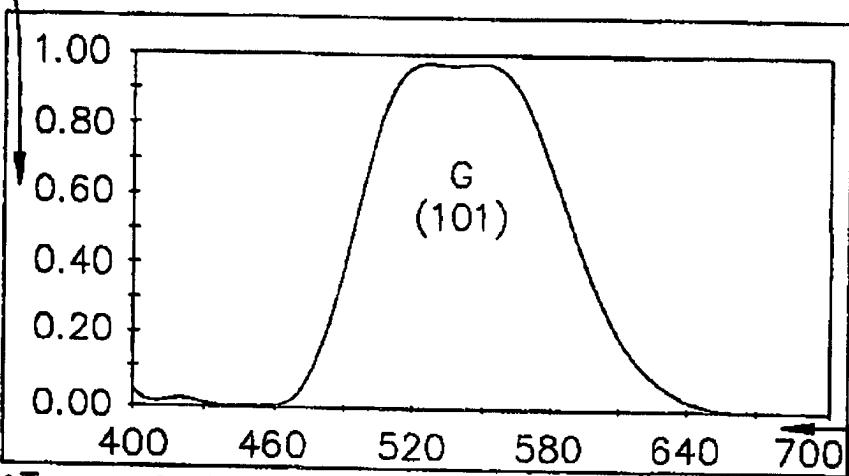
Transmission



FIGUR  
22a

WELLENLÄNGE  
(nm)

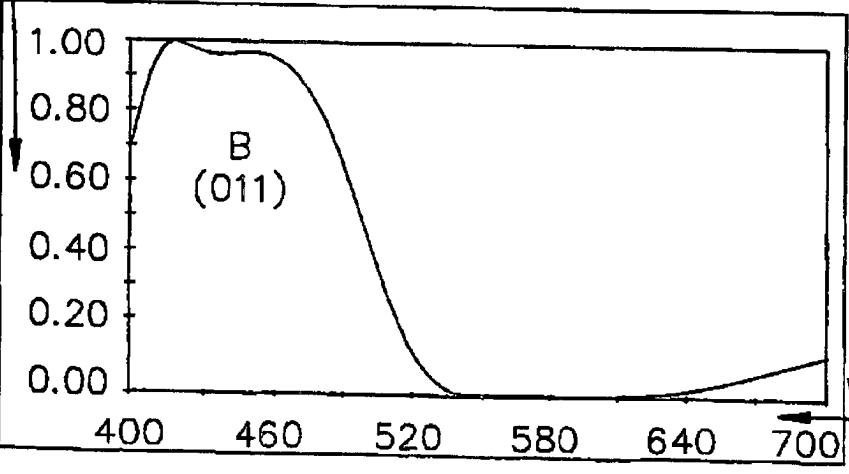
Transmission



FIGUR  
22b

WELLENLÄNGE  
(nm)

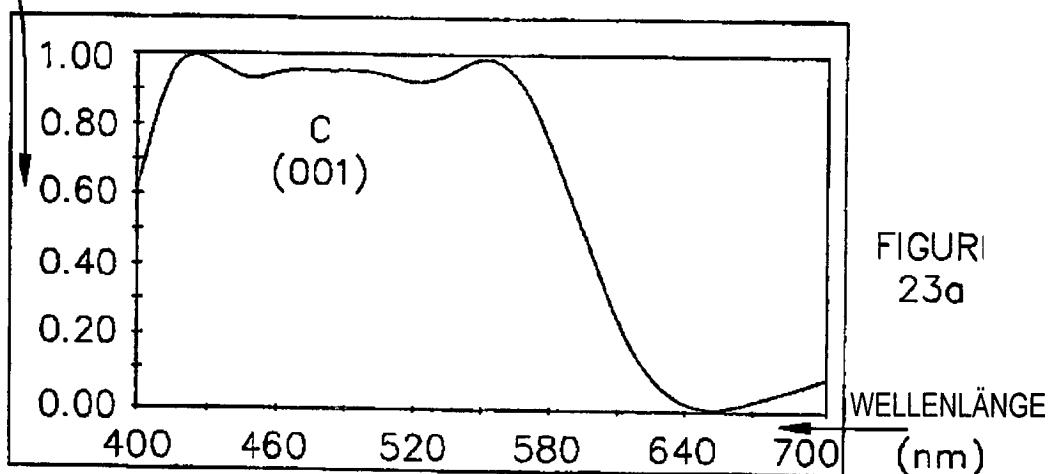
Transmission



FIGUR  
22c

WELLENLÄNGE  
(nm)

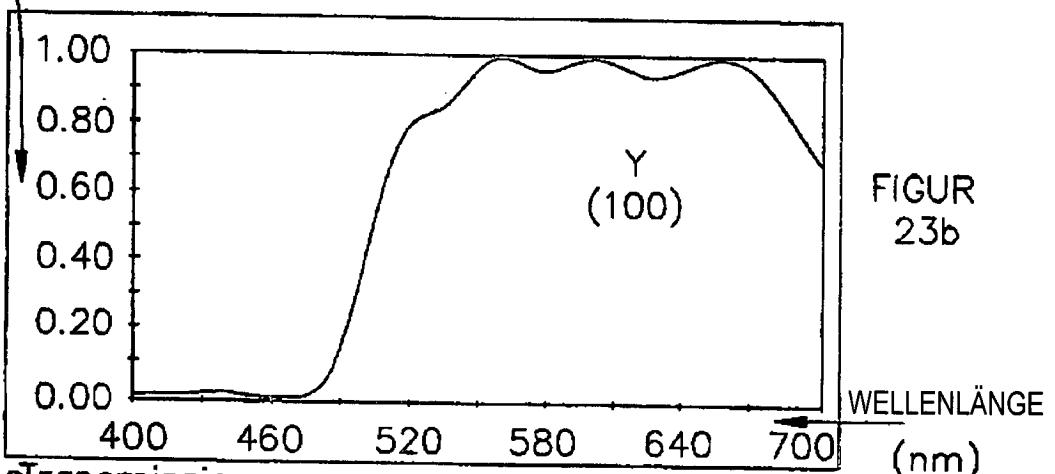
Transmission



FIGUR  
23a

WELLENLÄNGE  
(nm)

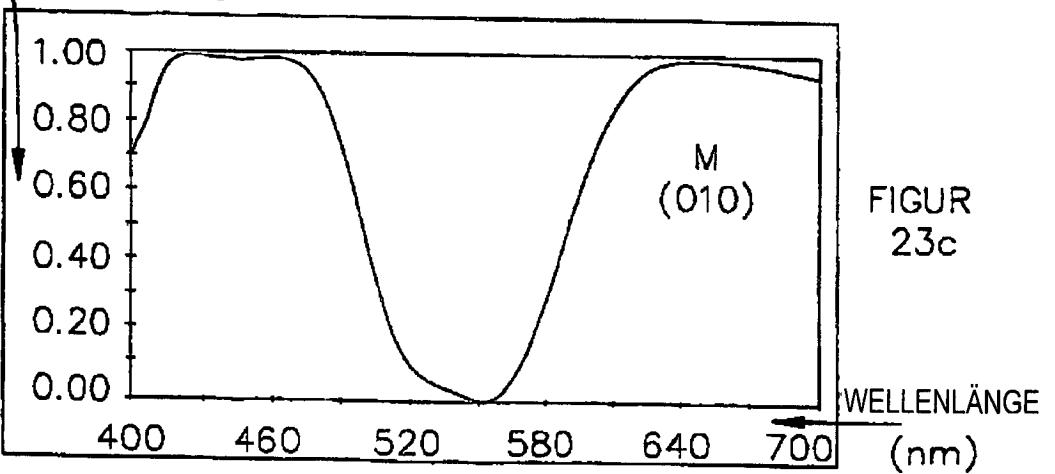
Transmission



FIGUR  
23b

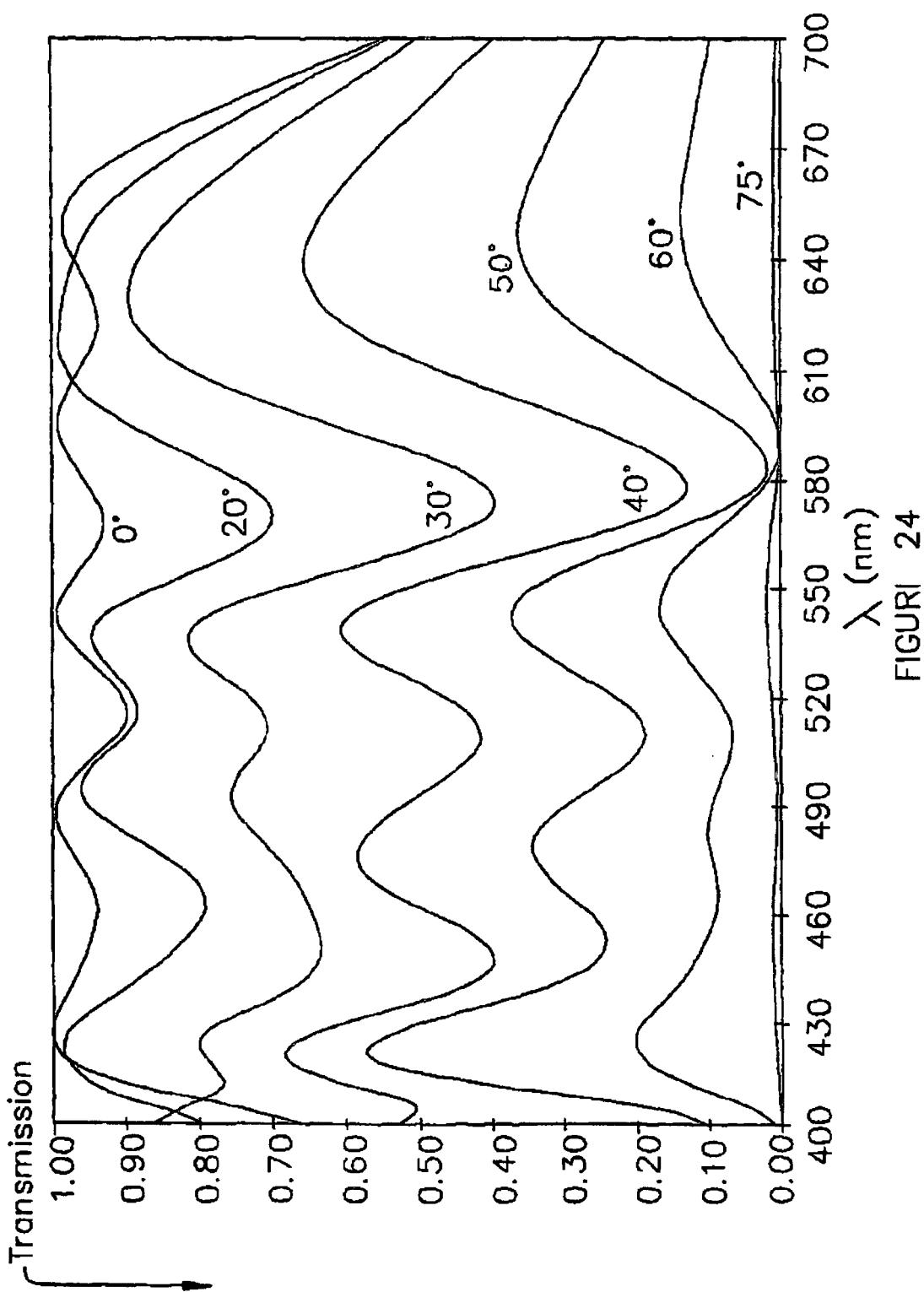
WELLENLÄNGE  
(nm)

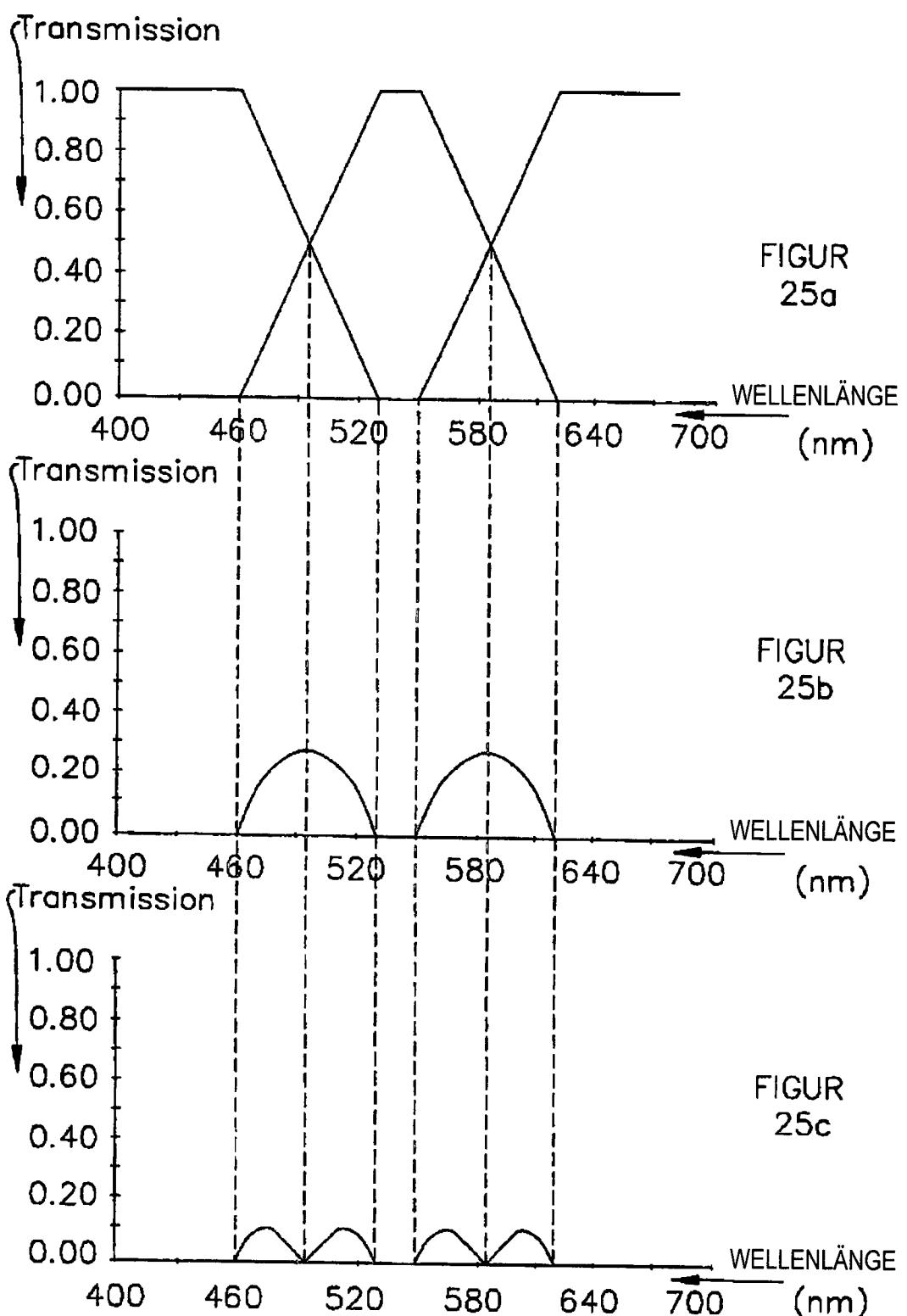
Transmission

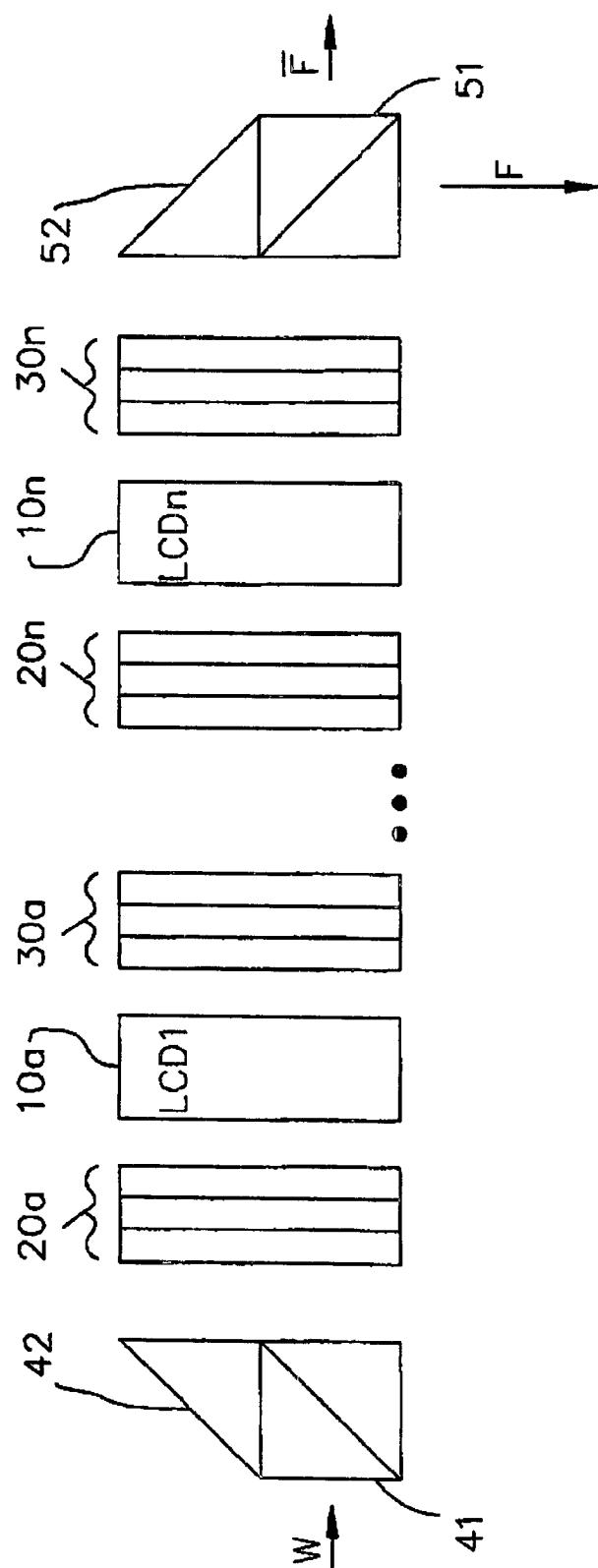


FIGUR  
23c

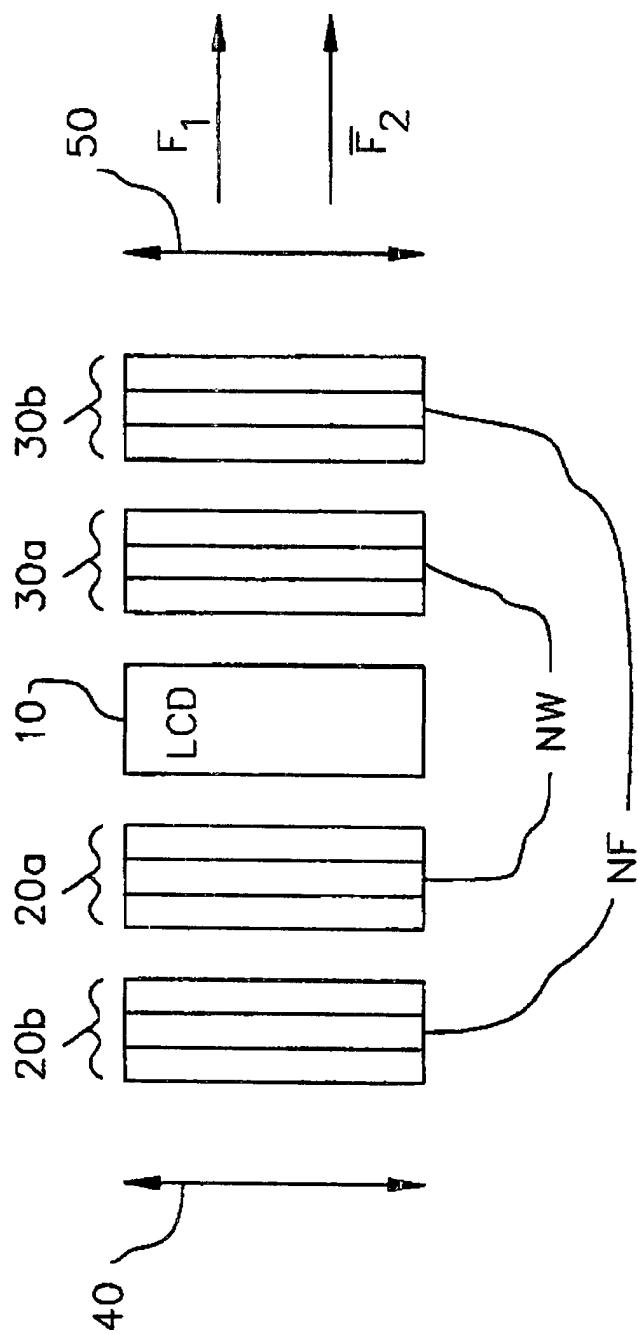
WELLENLÄNGE  
(nm)



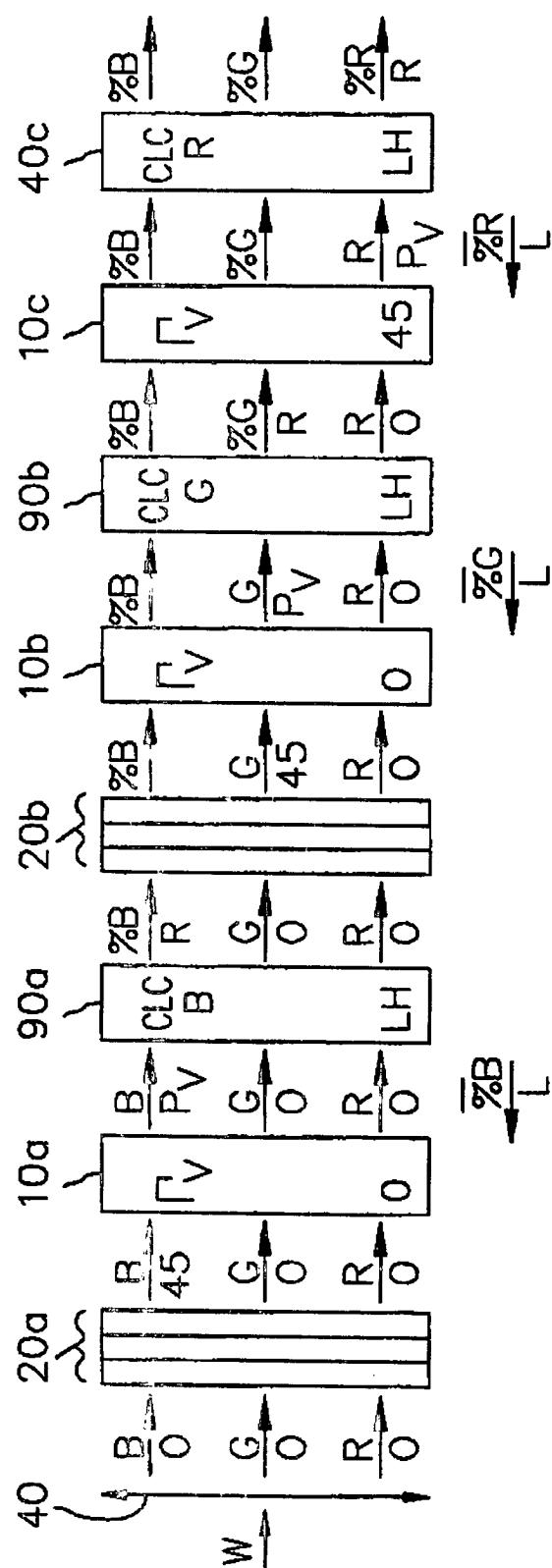




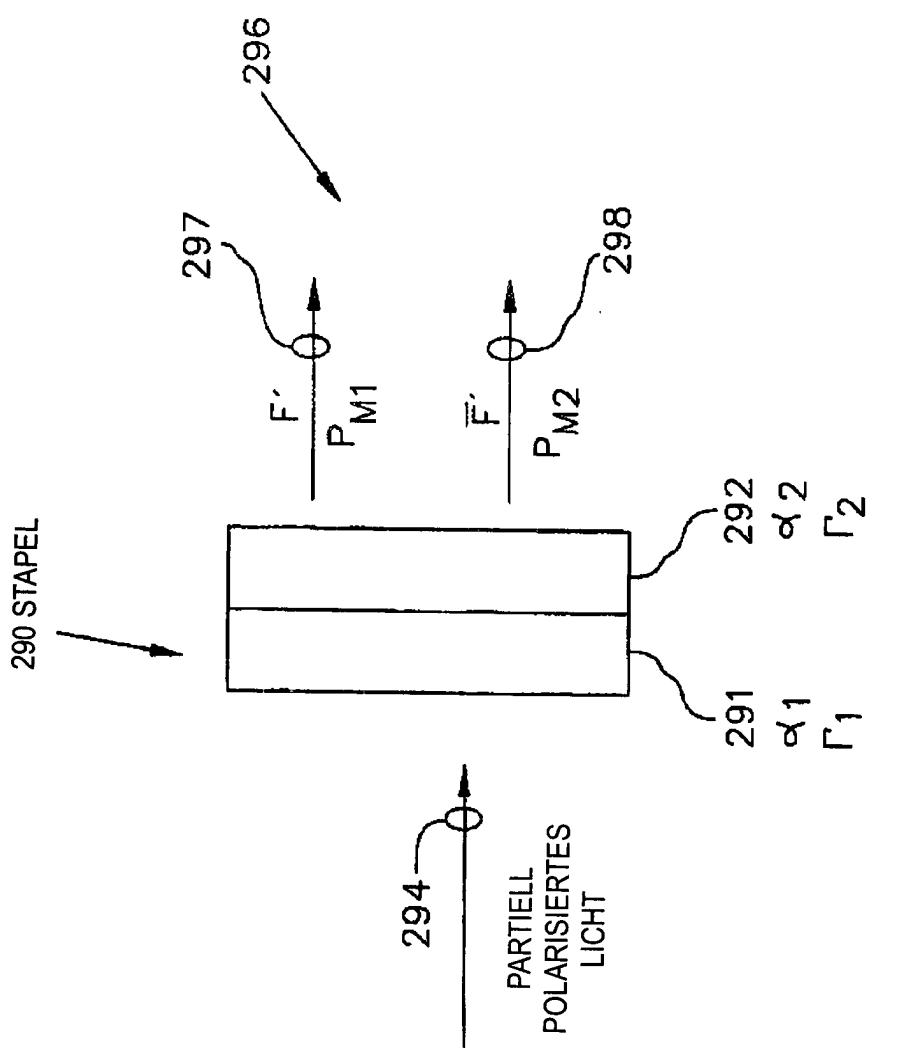
FIGUR 26



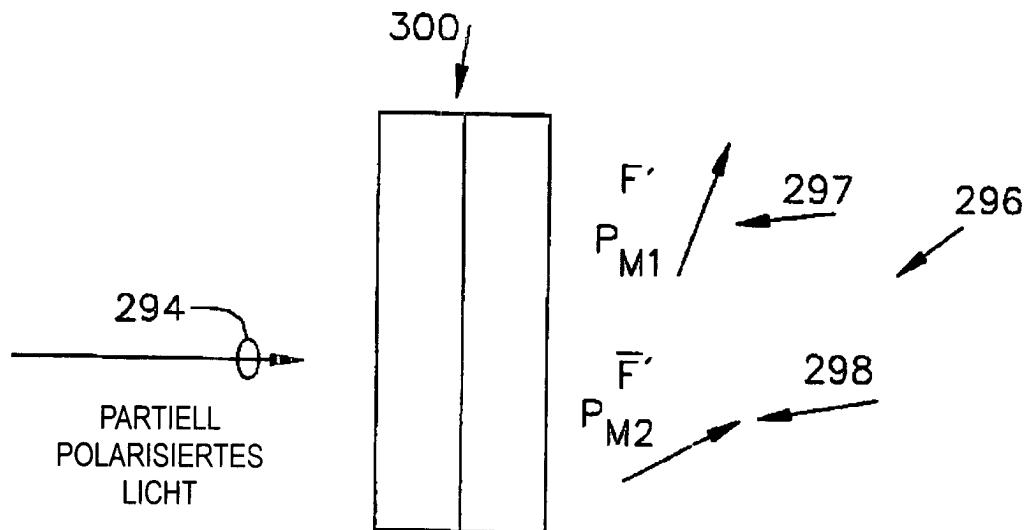
FIGUR 27



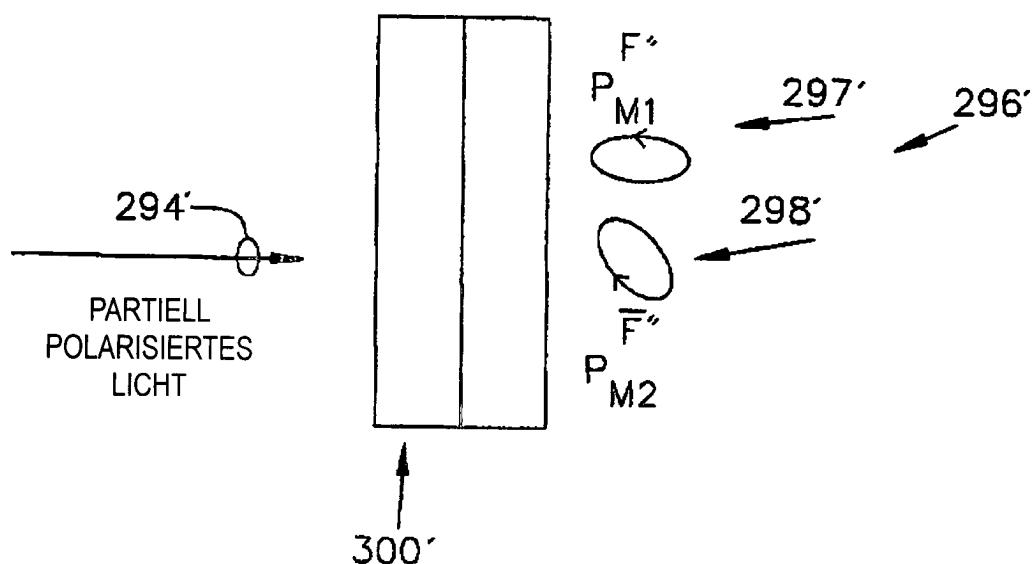
FIGUR 28



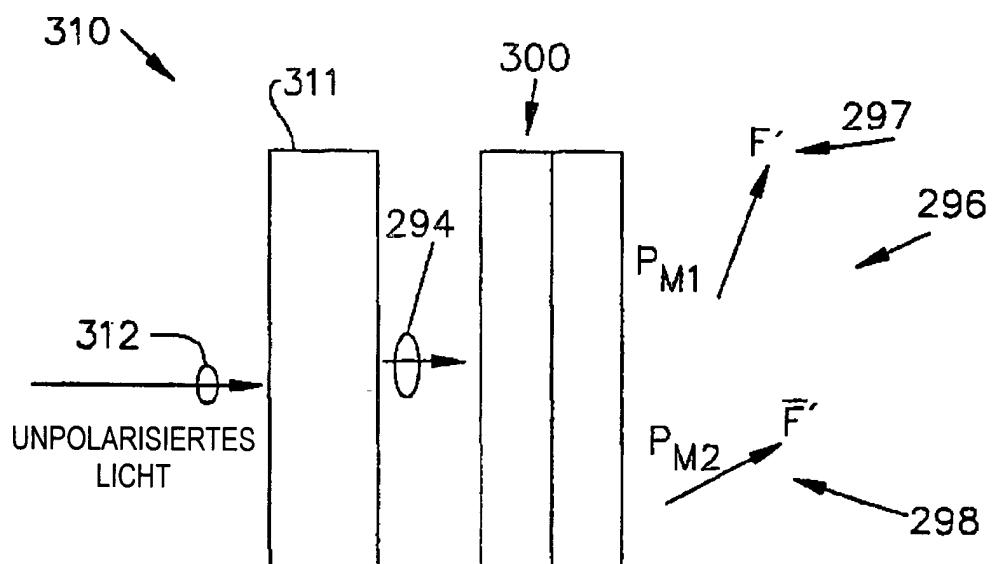
FIGUR 29



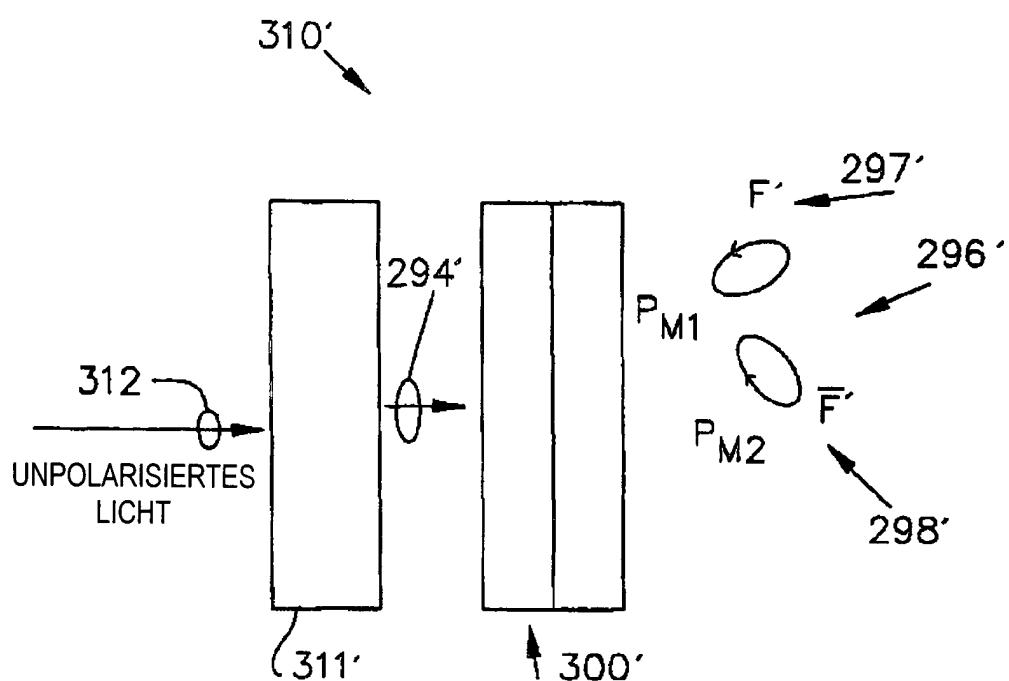
FIGUR 30a



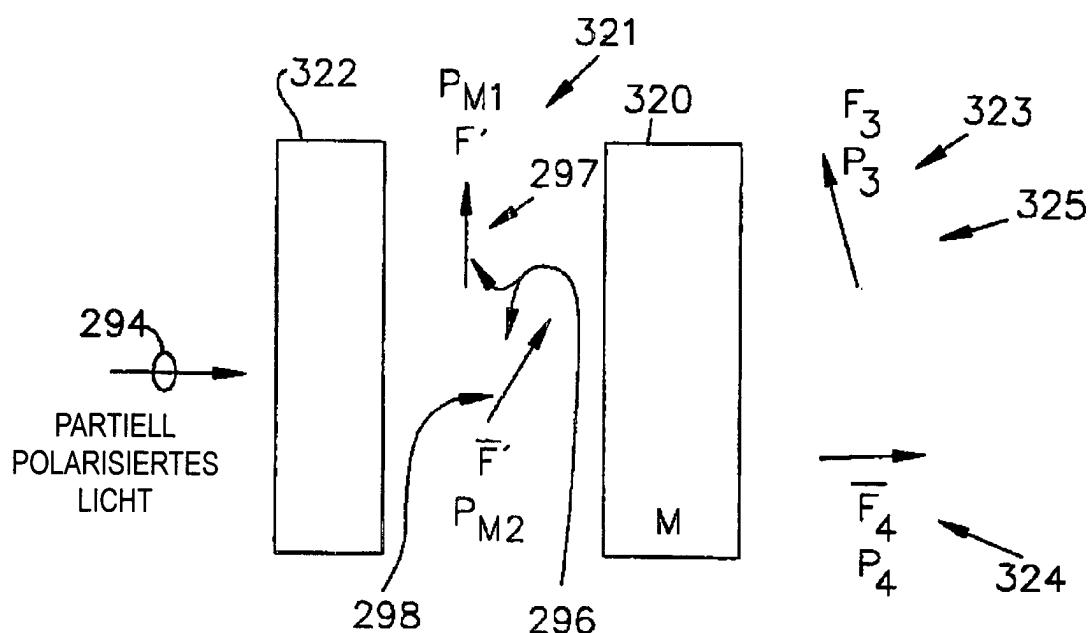
FIGUR 30b



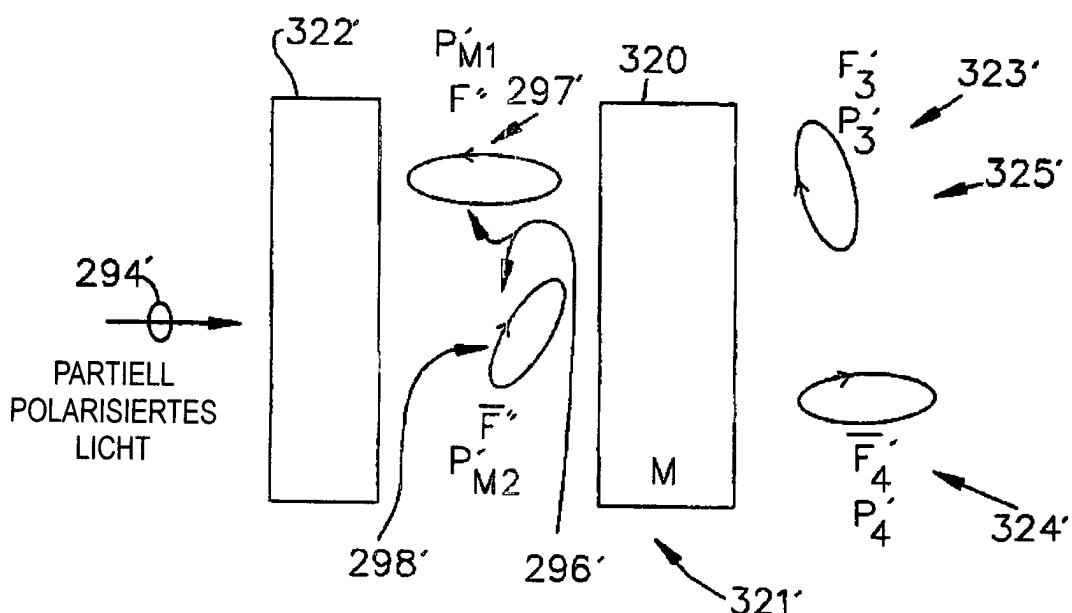
FIGUR 31a



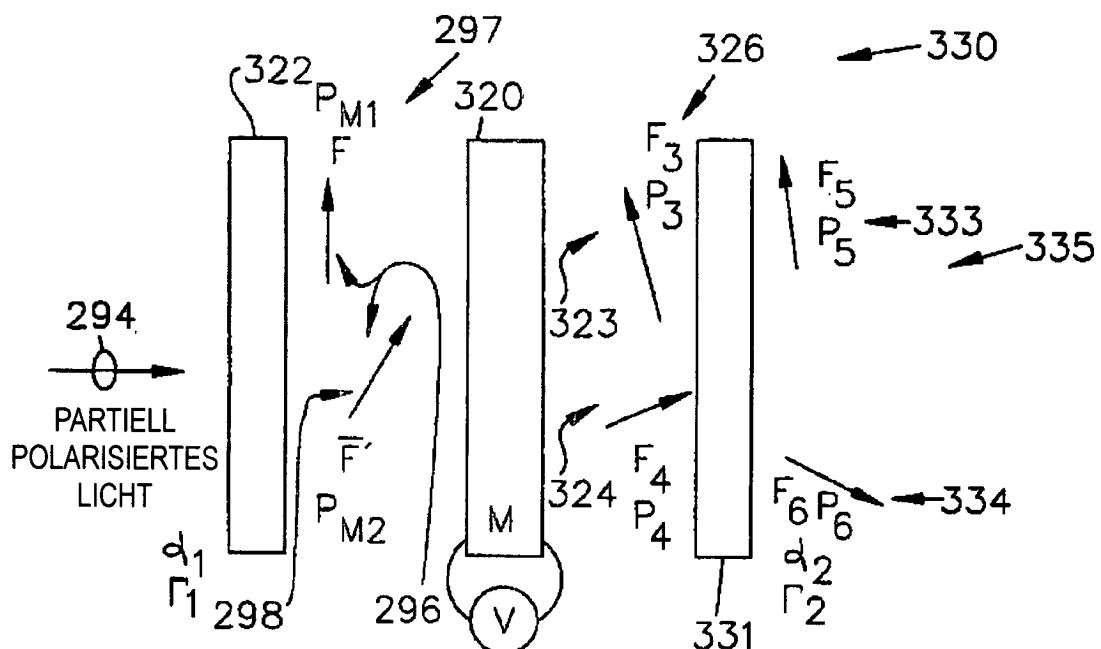
FIGUR 31b



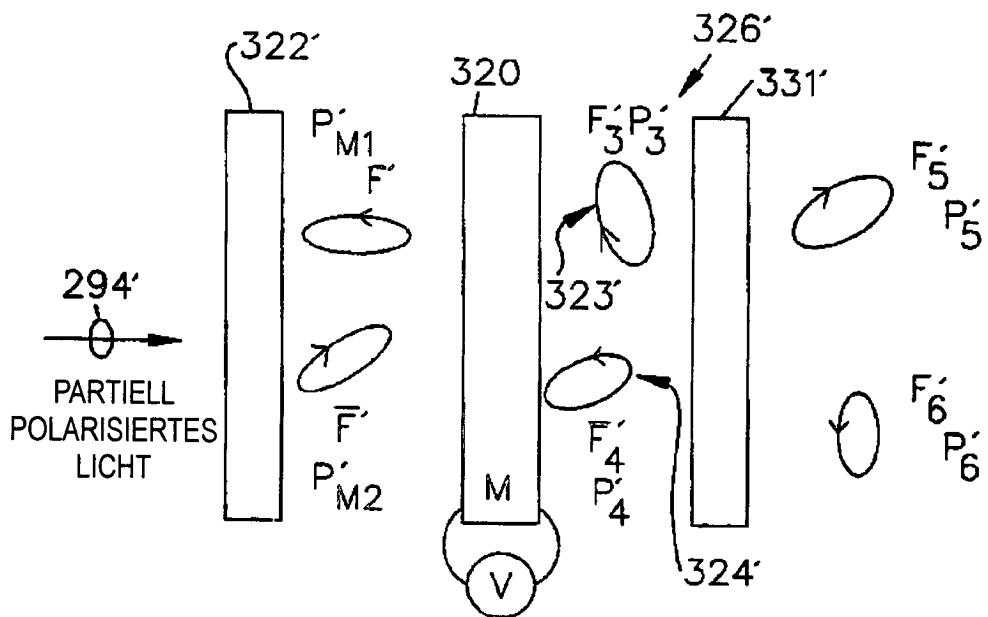
FIGUR 32a



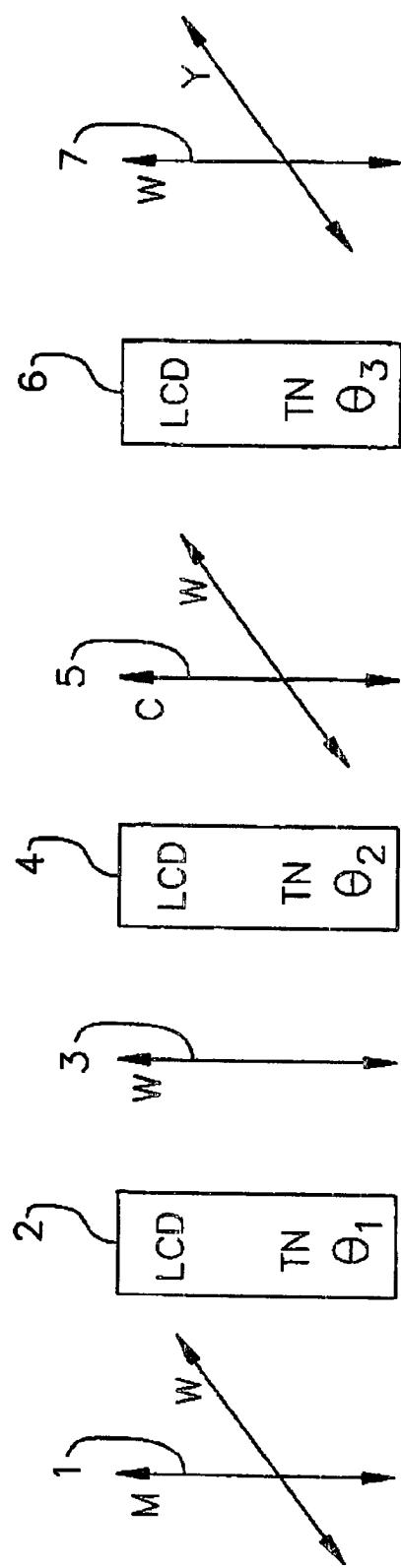
FIGUR 32b



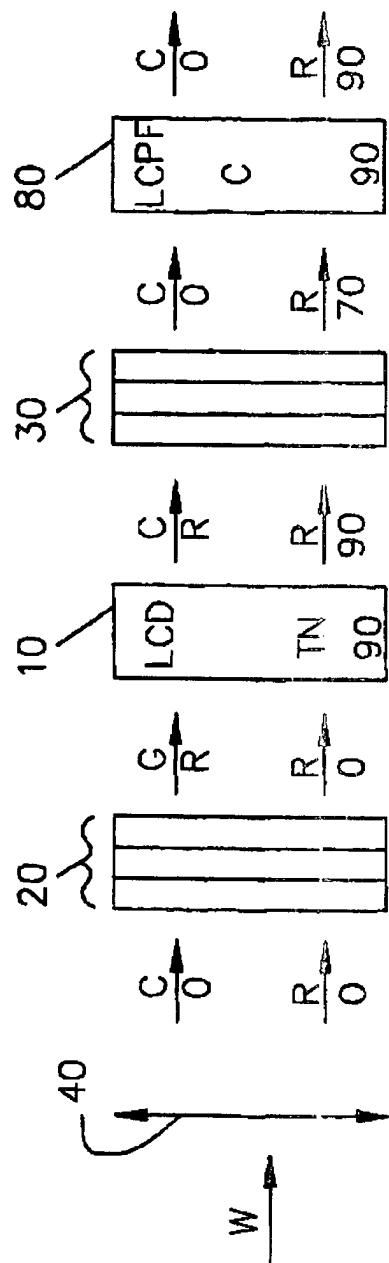
FIGUR 33a



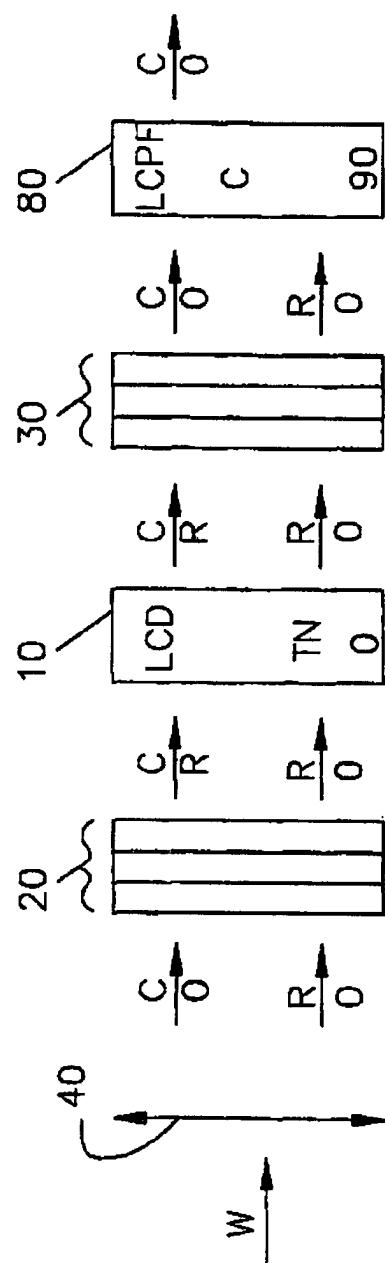
FIGUR 33b



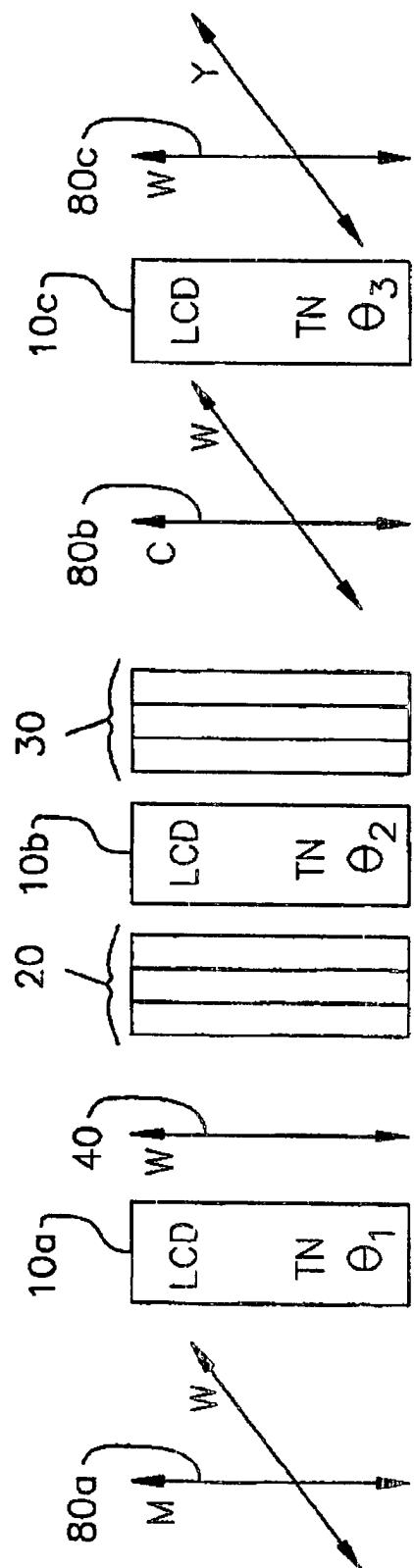
FIGUR 34



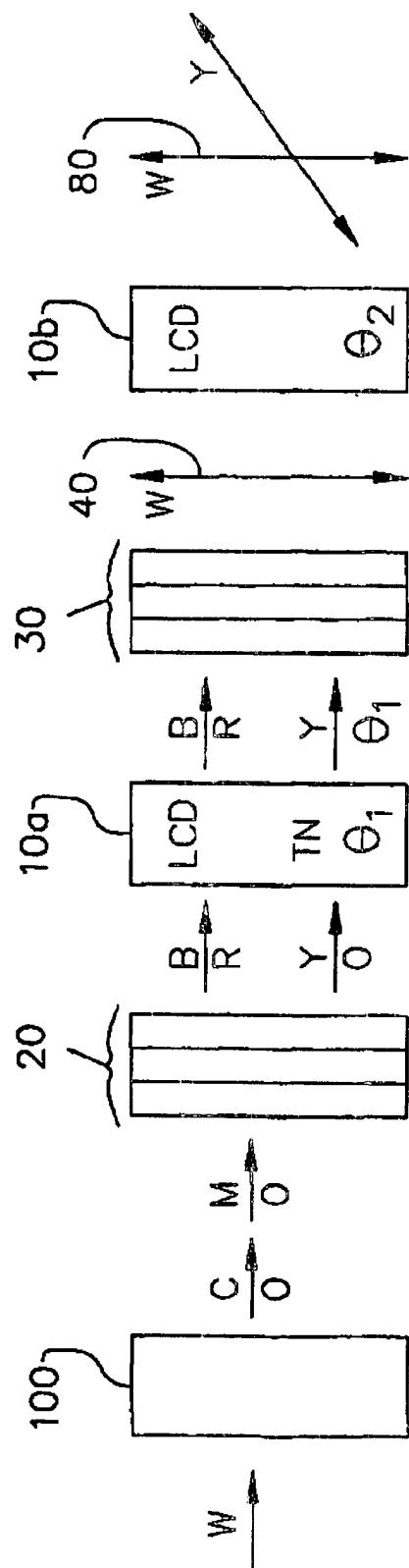
FIGUR 35a



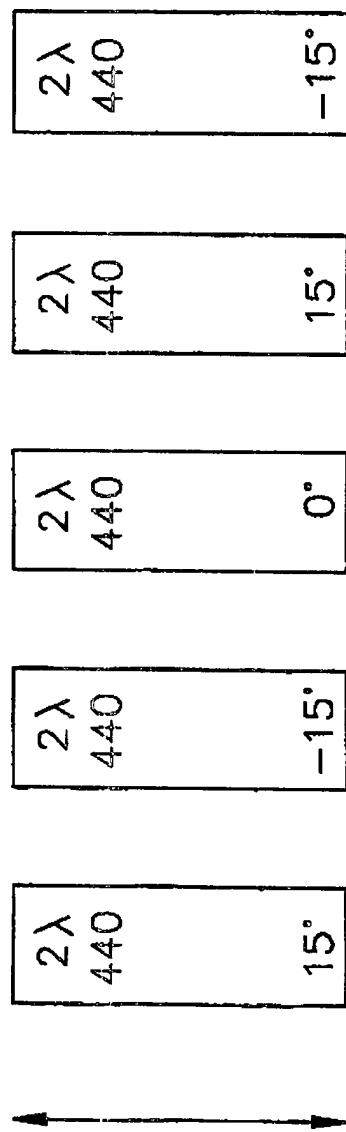
FIGUR 35b



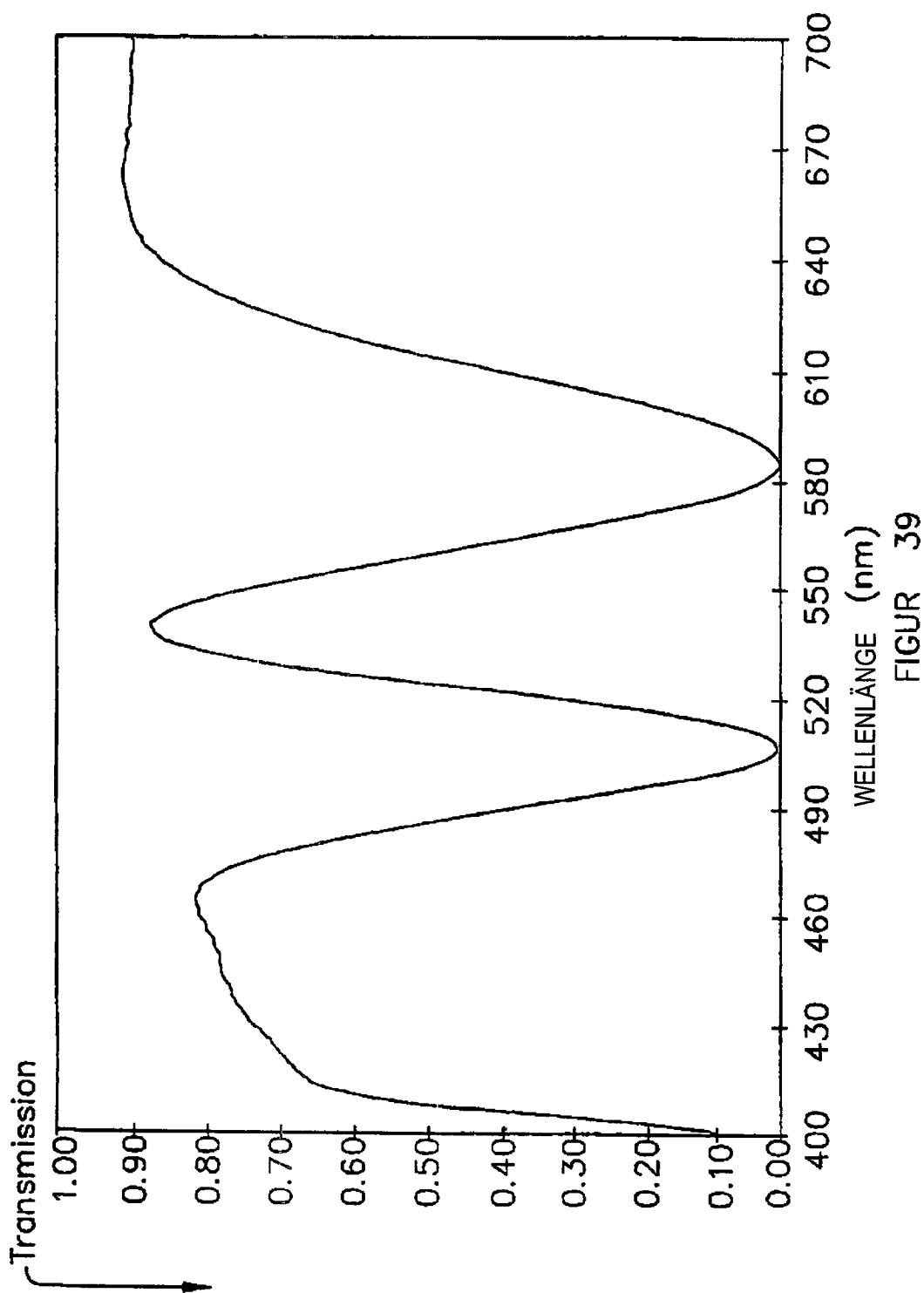
FIGUR 36



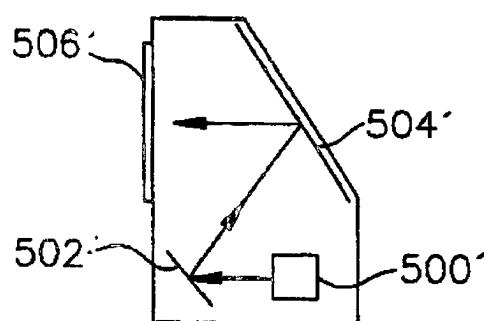
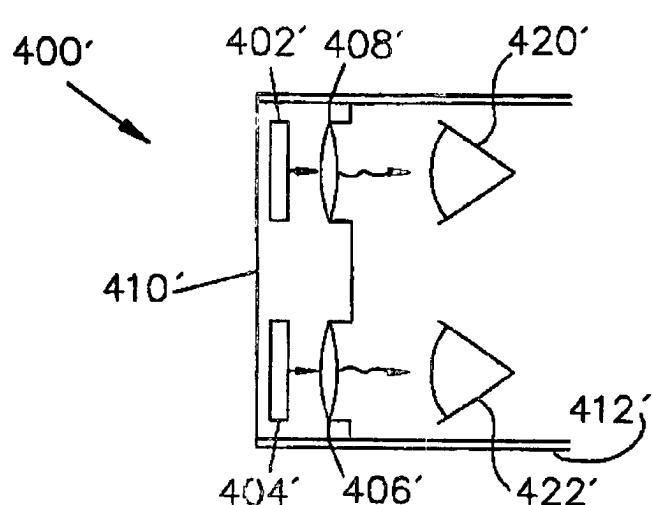
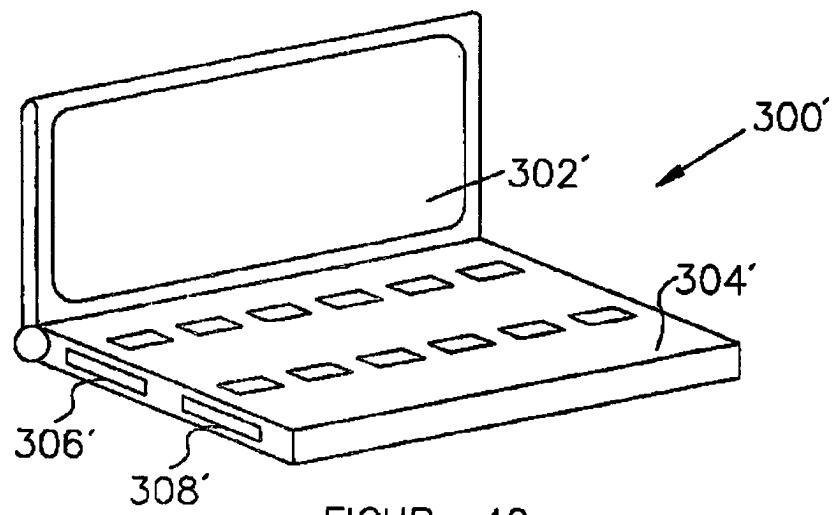
FIGUR 37

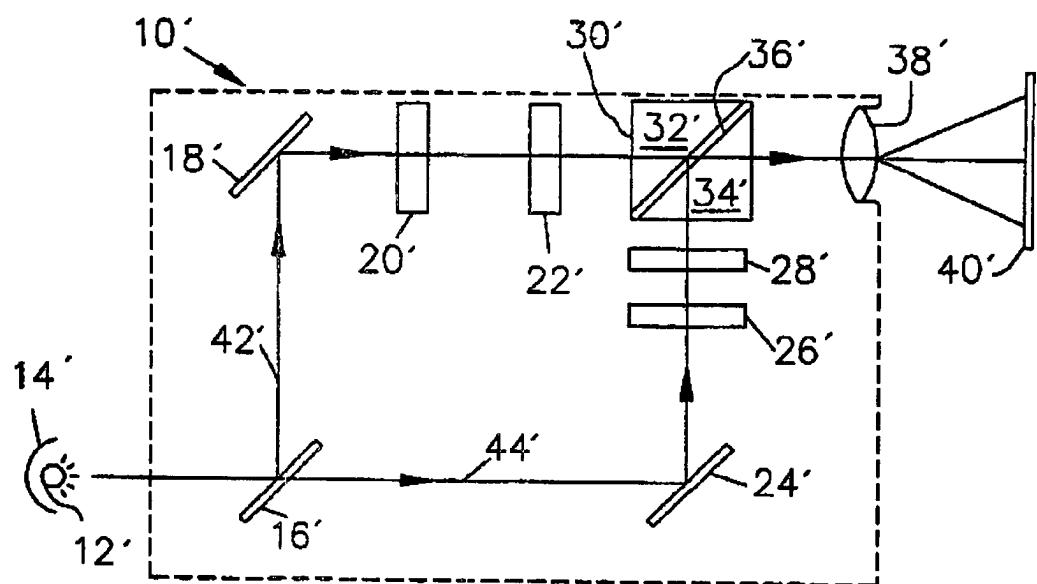


FIGUR 38

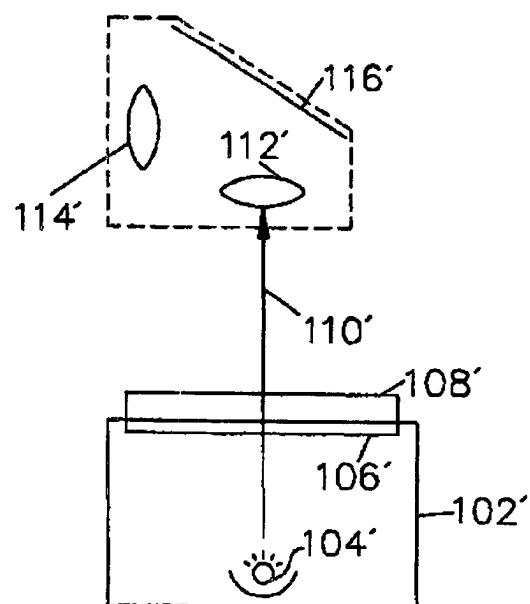


WELLENLÄNGE (nm)  
FIGUR  
39





FIGUR 43



FIGUR 44