(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer : **0 509 025 B1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift : **08.06.94 Patentblatt 94/23**

(51) Int. Cl.[5] : **G02F 1/1343**, G02F 1/133

(21) Anmeldenummer : **91902096.6**

(22) Anmeldetag : **09.01.91**

(86) Internationale Anmeldenummer : **PCT/EP91/00022**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer : **WO 91/10936 25.07.91 Gazette 91/17**

(54) ELEKTROOPTISCHES FLÜSSIGKRISTALLSCHALTELEMENT.

(30) Priorität : **09.01.90 DE 4000451**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung : **21.10.92 Patentblatt 92/43**

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung : **08.06.94 Patentblatt 94/23**

(84) Benannte Vertragsstaaten : **DE FR GB**

(56) Entgegenhaltungen :
US-A- 3 834 794
Journal of Applied Physics, Band 45, Nr. 12, December 1974, American Institute of Physics, R.A. Soref : "Field effects in nematic liquid crystals obtained with interdigital electrodes", Seiten 5466-5468
Proceedings of the IEEE, December 1974, R.A. Soref : "Interdigital twisted-nematic-displays", Seiten 1710-1711

(73) Patentinhaber :
FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.
Leonrodstrasse 54
D-80636 München (DE)

(72) Erfinder : **BAUR, Günter**
Waldhofstrasse 8d
D-7800 Freiburg (DE)
Erfinder : **FEHRENBACH, Waltraud**
Riedgaustrasse 11
d-8000 München 80 (DE)
Erfinder : **STAUDACHER, Barbara**
Münchgrund 8a
D-7637 Ettenheim (DE)
Erfinder : **WINDSCHEID, Friedrich**
Etzmattenstrasse 24
D-7800 Freiburg-Tiengen (DE)
Erfinder : **KIEFER, Rudolf**
Im Gottesacker 20
D-7801 Vörstetten (DE)

(74) Vertreter : **Kraus, Walter, Dr.**
Patentanwälte Kraus, Weisert & Partner
Thomas-Wimmer-Ring 15
D-80539 München (DE)

EP 0 509 025 B1

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

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement, umfassend eine Flüssigkristallschicht mit wenigstens einem Substrat und einen Polarisator und Analysator sowie eine auf dem Substrat angeordnete Elektrodenstruktur zum Erzeugen eines elektrischen Feldes, welches eine überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente hat, wobei

(a) die Flüssigkristallschicht eine verdrillbare Struktur aufweist und die Richtung der Polarisation von Licht, welches durch die Flüssigkristallschicht hindurchgeht, vom Verdrillungsgrad der Flüssigkristallschicht abhängt;

(b) die Flüssigkristallschicht in einer Ausgangsorientierung verankert ist, in welcher ihre Verdrillungsachse senkrecht oder im wesentlichen senkrecht zur Flüssigkristallschicht bleibt; und

(c) die überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente der Elektrodenstruktur derart veränderbar ist, daß damit der Verdrillungsgrad der Flüssigkristallschicht verändert wird.

Ein elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement, das eine Flüssigkristallschicht mit wenigstens einem Substrat und einen Polarisator und Analysator sowie eine auf dem Substrat angeordnete Elektrodenstruktur zum Erzeugen eines elektrischen Feldes, welches eine überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente hat, umfaßt, ist aus US-A-3 854 751 bekannt. Bei diesem Flüssigkristallschaltelement werden mit der felderzeugenden Elektrodenstruktur zwei elektrische Felder erzeugt, von denen das eine eine überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente hat, während das andere eine überwiegend senkrecht zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente besitzt, wobei die Flüssigkristallschicht mit dem einen elektrischen Feld in den Zustand minimaler Lichttransmission und mit dem anderen elektrischen Feld in den Zustand maximaler Lichttransmission geschaltet wird, indem die optische Achse des Flüssigkristalls durch das eine elektrische Feld senkrecht zur Flüssigkristallschicht und durch das andere elektrische Feld parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtet wird. In den Fällen, in denen kompensierte colesterische Flüssigkristalle verwendet werden, die sich bei Abwesenheit von elektrischen Feldern spontan so orientieren, daß ihre optische Achse senkrecht zur Flüssigkristallschicht ausgerichtet ist, wird gegebenenfalls auf das eine elektrische Feld verzichtet, obwohl es nach US-A-3 854 751 auch in diesen Fällen zu bevorzugen ist, beide Felder zu verwenden, weil die Eigenausrichtungszeit der sich selbst orientierenden Flüssigkristalle relativ groß und damit sehr ungünstig ist.

Auch aus DE 24 59 533 A1 und DE 23 58 581 B2 sind elektrooptische Flüssigkristallschaltelemente bekannt, die eine Umorientierungseinrichtung mit einer felderzeugenden Struktur aufweisen, deren elektrisches Feld eine überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente hat. In dem Flüssigkristallschaltelement nach DE 23 28 581 B2 werden jedoch ähnlich wie in demjenigen nach US-A 2 854 751 zwei zueinander senkrechte elektrische Felder erzeugt, um die optische Achse des Flüssigkristalls in zwei senkrecht zueinander verlaufende Orientierungen auszurichten, von denen die eine parallel und die andere senkrecht zur Flüssigkristallschicht verläuft. Diese Art der Umorientierung der optischen Achse des Flüssigkristalls erfolgt auch in dem Flüssigkristallschaltelement gemäß DE 24 59 533 A1, wobei aber die zwangsweise Ausrichtung der optischen Achse des Flüssigkristalls senkrecht zur Flüssigkristallschicht mittels homöotroper Randorientierung des Flüssigkristalls erfolgt.

Schließlich ist auch aus WO 84/04601 in Verbindung mit einem Flüssigkristall eine kammartige felderzeugende Struktur bekannt, deren Feld eine überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente hat. Bei der Einrichtung nach dieser Druckschrift handelt es sich jedoch um einen Lichtleiter, bei dem die Lichtauskopplung durch eine Änderung des effektiven Brechungsindex des aus dem Flüssigkristall bestehenden Kerns oder der von dem Flüssigkristall gebildeten Umhüllung mittels der felderzeugenden Struktur gesteuert wird.

Aus JP 1-33521 (A) in Pat. Abstr. Jap. P-875, 23.05.89 Vol. 13 No. 219 ist es im übrigen bekannt, Elektroden in parallelen Ebenen anzuordnen, jedoch zu dem Zweck, einen speichernden Streuzustand in einem optischen Flüssigkristallmodulator zu erzeugen.

Weiter sind aus JP 1-179912 (A) in Pat. Abstr. Jap. P 946, 18.10.89, Vol. 13 No. 460 und JP 1-161217 (A) in Pat. Abstr. Jap. P-936, 25.9.89, Vol. 13 No. 428 Flüssigkristallanzeigeelementkomponenten bekannt, die dazu dienen, den Sperrzustand eines Displays zu verbessern, wobei verdrillte Flüssigkristalle mit einer bestimmten Ausrichtung verwendet werden. Außerdem beschreibt JP 1-44422 (A) in Pat. Abstr. Jap. P-880, 7.6.89, Vol. 13 No. 242 ein Flüssigkristallanzeigeelement, bei dem der nematische Flüssigkristall eine Orientierung mit einem Anstellwinkel von 20° bis 30° hat. Es handelt sich dabei jedoch um eine konventionelle Flüssigkristallstruktur, bei der durch Anlegen eines elektrischen Feldes die optische Achse des Flüssigkristalls zwischen einer zur Flüssigkristallschicht parallelen und senkrechten Richtung umgeschaltet wird.

Endlich sind aus GB 1 506 570 und JP 54-17756 (A) in Pat. Abstr. Jap. E-101, 30.3.79, Vol. 3 No. 38 Flüssigkristallanzeigeeinrichtungen mit optischem Kompensator oder Reflektor sowie mit dichroitischen Farbstof-

fen bekannt.

Weitere bekannte elektrooptische Flüssigkristallschaltelemente sind beispielsweise von M. Schadt und F. Leenhouts in "Appl. Phys. Lett.", Vol. 50, Seite 236 ff. (1987), sowie von T.J. Scheffer und J. Nehring in "J. Appl. Phys.", Vol. 58, Seite 3022 ff. (1985), ferner von L. Phl, G. Weber, R. Eidenschink, G. Baur und W. Fehrenbach in "Appl. Phys. Lett.", Vol 38, Seite 497 ff. (1981) und von M. Schadt und W. Helfrich in "Appl. Phys. Lett.", Vol 18, Seite 127 ff.(1971) beschrieben.

Weiter ist es aus dem Aufsatz von K. Fahrenschon et al.: "Deformation of a Pretilted Nematic Liquid Crystal Layer in an Electric Field" in Appl. Phys. 11 (1976), Seiten 67 bis 74 bekannt, Flüssigkristalle in elektrooptischen Flüssigkristallschaltelementen in ihrer Deformationsrichtung vorzudeformieren, so daß sich dadurch eine einheitliche Deformationsrichtung beim Anlegen des deformierenden elektrischen Feldes ergibt.

Elektrooptische Flüssigkristallschaltelemente werden insbesondere in Flüssigkristalldarstellungseinrichtungen, wie beispielsweise in Bildschirmen von Fernsehgeräten, Computern, Schaltzentralen und von anderen Einrichtungen, Anlagen o.dgl. zum Schalten der Bildpunkte dieser Flüssigkristalldarstellungseinrichtungen, d.h. zur Veränderung der Helligkeit und/oder Farbe eines Bildpunkts, verwendet.

Bei den Flüssigkristalldarstellungseinrichtungen oder -displays, welche mit elektrooptischen Flüssigkristallschaltelementen der vorstehenden bekannten Arten aufgebaut sind, ist der Beobachtungs- bzw. Betrachtungswinkelbereich, d.h. der Winkelbereich, aus dem heraus eine mittels der Flüssigkristalldarstellungseinrichtung erzeugte Darstellung ohne wesentliche optische Verfälschung wahrgenommen werden kann, erheblich eingeschränkt, weil der Kontrast der Darstellung ziemlich stark vom Betrachtungswinkel abhängt.

Diese Winkelabhängigkeit des Kontrasts der bekannten Flüssigkristalldarstellungseinrichtungen ist, wie hier beigefügte Untersuchungsergebnisse zeigen, eine Folge der bisherigen Umorientierung der optischen Achse der Flüssigkristallschicht zwischen einer Ausrichtung parallel zur Flüssigkristallschicht und einer Ausrichtung senkrecht zur Flüssigkristallschicht. Durch die Untersuchungen, die im Rahmen der vorliegenden Erfindung durchgeführt worden sind, wurde festgestellt, daß es die durch eine solche Umorientierung bewirkte Deformation des Flüssigkristalls ist, die eine stark ausgeprägte Winkelabhängigkeit der Transmission des Flüssigkristallschaltelements und damit des Kontrasts zur Folge hat.

Ein elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement der eingangs genannten Art mit den dort angegebenen Merkmalen (a), (b) und (c), durch welches die Winkelabhängigkeit der Transmission und damit des Kontrasts weitestgehend beseitigt werden, ist aus den Arbeiten von R.A. Soref bekannt, nämlich aus dem Aufsatz "Field effects in nematic liquid crystals obtained with interdigital electrodes" im Journal of Applied Physics, Band 45, Nr. 12, Dezember 1974, American Institute of Physics, und aus dem Aufsatz "Interdigital twisted-nematic displays" in Proceedings of the IEEE, Dezember 1974, Seiten 1710-1711. Problematisch an diesen bekannten elektrooptischen Flüssigkristallschaltelementen ist es, daß sich beim Anlegen eines den Flüssigkristall deformierenden, d.h. ver- oder entdrillenden elektrischen Feldes Bereiche unterschiedlicher Deformation des Flüssigkristalls in Abhängigkeit davon ergeben, ob der jeweilige Berich ein interdigitaler Bereich ist, d.h. sich zwischen den Kammelektroden der felderzeugenden Elektrodenstruktur befindet, oder ein intradigitaler Bereich, d.h. sich innerhalb des Bereichs der Kammelektroden erstreckt. Durch diese Bereiche unterschiedlicher Deformation des Flüssigkristalls, die dadurch verursacht werden, daß die beim Anlegen des elektrischen Feldes erzielbare Deformierbarkeit des Flüssigkristalls in unmittelbarer Nähe der bei den Kammelektroden befindlichen Verankerungsschicht für den Flüssigkristall schlecht ist, kommt es zu einer unerwünschten und optisch störenden Strukturbildung in der Flüssigkristallschicht sowie dazu, daß je nach der Polarisator-Analysator-Anordnung (parallel oder senkrecht zueinander) beim Anlegen eines elektrischen Feldes entweder keine ausreichende Sperrung oder keine zufriedenstellende Transmission des elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements erzielbar ist, selbst wenn man ein verhältnismäßig hohes elektrisches Feld anlegt. Das bedeutet, daß solche elektrooptischen Flüssigkristallschaltelemente entweder einen unbefriedigenden Kontrast oder eine verminderte Helligkeit haben.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement zur Verfügung zu stellen, das gleichzeitig sowohl im wesentlichen eine Betrachtungswinkelunabhängigkeit der Transmission und des Kontrastes als auch eine günstige Deformierbarkeit der Flüssigkristallschicht durch das angelegte elektrische Feld in unmittelbarer Nähe ihrer Verankerungsschicht aufweist.

Diese Aufgabe wird mit einem elektrooptischen Flüssigkristallschaltelement der eingangs genannten Art gelöst, welches sich dadurch auszeichnet, daß die Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht zumindest auf ihrer der Elektrodenstruktur zugewandten Schichtseite einen Anstellwinkel, der größer als 0° und kleiner als 30° ist, mit einer zur Flüssigkristallschicht parallelen Ebene einschließt, so daß sich eine Deformierbarkeit der Flüssigkristallschicht beim Anlegen des elektrischen Feldes in unmittelbarer Nähe der Verankerung der Flüssigkristallschicht ergibt.

Auf diese Weise wird ein elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement erhalten, das nicht nur eine im we-

sentlichen winkelunabhängige Transmission und einen im wesentlichen winkelunabhängigen Kontrast hat, sondern das darüberhinaus auch eine günstige Deformierbarkeit des Flüssigkristalls beim Anlegen des elektrischen Feldes in unmittelbarer Nähe der Verankerungsschicht für den Flüssigkristall aufweist.

Die Angabe, daß die Verdrillungsachse "im wesentlichen" senkrecht zur Flüssigkristallschicht bleibt und daß die optische Achse "im wesentlichen" parallel zur Flüssigkristallschicht verdreht wird, soll infolgedessen besagen, daß ein gewisser Anstellwinkel α_o mehr als 0° und 30° vorgesehen ist, den die Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht zumindest auf ihrer der felderzeugenden Elektrodenstruktur zugewandten Schichtseite der Flüssigkristallschicht mit einer zur Flüssigkristallschicht parallelen Ebene einschließt, wobei hier unter der Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht die Vorzugsrichtung der Molekülachsen des Flüssigkristalls in der Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht verstanden wird.

Vorzugsweise ist das erfindungsgemäße Flüssigkristallschaltelement so ausgebildet, daß die überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente der felderzeugenden Elektrodenstruktur derart veränderbar ist, daß zur kontinuierlichen oder stufenweisen Einstellung unterschiedlicher Lichttransmissionsgrade im Bereich zwischen im wesentlichen maximaler und minimaler Lichttransmission der Verdrillungsgrad der Flüssigkristallschicht kontinuierlich oder stufenweise verändert wird.

Wie die hier beigefügten Untersuchungsergebnisse über die Winkelabhängigkeit der Transmission bei erfindungsgemäßen Flüssigkristallschaltelementen zeigen, ist die Transmission bei den erfindungsgemäßen Flüssigkristallschaltelementen praktisch nicht winkelabhängig.

Das elektrische Feld mit der überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichteten Feldkomponente kann dadurch erhalten werden, daß die felderzeuqende Elektrodenstruktur Streifenoder Linienelektroden umfaßt, die parallel zueinander und parallel zur Flüssigkristallschicht verlaufen und alternierend mit einem unterschiedlichen elektrischen Potential beaufschlagt sind.

Bevorzugte Ausbildungen einer solchen felderzeugenden Elektrodenstruk tur sind so ausgebildet, daß

(a) die Streifen- oder Linienelektroden alternierend in wenigstens zwei zur Flüssigkristallschicht parallelen Ebenen angeordnet sind, wobei die beiden Ebenen insbesondere von den beiden entgegengesetzten Oberflächen einer isolierenden Folie, Dünnplatte, Schicht o. dgl. gebildet sein können; oder

(b) die mit unterschiedlichem Potential beaufschlagten Streifen- oder Linienelektroden kammartig ineinandergreifend in der gleichen Ebene angeordnet sind, wobei diese Ebene insbesondere von der der Flüssigkristallschicht zugewandten Oberfläche eines die Flüssigkristallschicht begrenzenden Substrats oder einer auf ein solches Substrat aufgebrachten isolierenden Folie, Dünnplatte, Schicht o. dgl. gebildet sein kann.

Eine Welterbildung des elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements nach der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daB die überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente einen Ausrichtungswinkel, der größer als 0° und kleiner als 90° ist, mit der Vorzugsrichtung bildet, welche die Flüssigkristallschicht auf ihrer der felderzeugenden Elektrodenstruktur zugewandten Schichtseite in ihrer Ausgangsorientierung hat. Auf diese Weise wird einerseits eine Domänenbildung durch unterschiedlichen Drehsinn von benachbarten Flüssigkristallschaltelementen oder -elementbereichen verhindert, und andererseits werden kurze Schaltzeiten erreicht, da sich durch den spitzen Winkel zwischen der überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht verlaufenden Feldkomponente und der Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht auf ihrer der felderzeugenden Elektrodenstruktur zugewandten Schichtseite ein eindeutig gerichtetes Anfangsdrehmoment genügender Größe beim Einschalten des elektrischen Feldes ergibt, durch das der Drehsinn vorgegeben und damit das Flüssigkristallschaltelement in kürzestmöglicher Zeit geschaltet wird.

Bevorzugt ist dieses Flüssigkristallschaltelement so ausgebildet, daß

(a) der Ausrichtungswinkel bei positiver Dielektrizitätsanisotropie des Flüssigkristalls größer als 70° und kleiner als 90° ist, oder daß

(b) der Flüssigkristall eine negative Dielektrizitätsanisotropie hat, wobei der Ausrichtungswinkel kleiner als 20° und größer als 0° ist.

Bei Verwendung von Flüssigkristallmaterialien mit positiver Dielektrizitätsanisotropie $\Delta\varepsilon$ wird nämlich ein Drehmoment in duziert, das die Vorzugsrichtung (Direktor) des Flüssigkristalls in Richtung des elektrischen Feldes dreht, während bei Verwendung von Flüssigkristallmaterialien mit negativer Dielektrizitätsanisotropie ein Drehmoment induziert wird, das die Vorzugsrichtung (Direktor) in eine Ebene senkrecht zur Richtung des elektrischen Feldes dreht. Der Ausrichtungswinkel sollte hierbei, wie oben angegeben, mit Rücksicht auf elektrooptische Kennlinien und Schaltzeiten bei positivem $\Delta\varepsilon$ nicht kleiner als $|70°|$ und bei negativem $\Delta\varepsilon$ nicht größer als $|20°|$ sein.

Besonders bevorzugt ist in dem erfindungsgemäßen Flüssigkristallschaltelement ein Flüssigkristallmaterial, insbesondere ein nichtferroelektrisches Flüssigkristallmaterial, von negativer Dielektrizitätsanisotropie $\Delta\varepsilon$ vorgesehen, da sich hierdurch eine weitere Art von Domänenausbildung ausschalten läßt, wenn das elektrische Feld außer der parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichteten Komponente auch eine senkrecht hierzu

orientierte Komponente hat, was in der Praxis meist der Fall ist. Ein solcher Fall liegt zum Beispiel vor, wenn das elektrische Feld, wie es bevorzugt geschieht, durch Streifen- oder Linienelektroden erzeugt wird, denn dann ist gleichzeitig zur Komponente, die parallel oder nahezu parallel zur Flüssigkristallschicht verläuft, auch eine bei hohen Feldern ebenfalls wirksame Komponente senkrecht zur Flüssigkristallschicht vorhanden. Bei Flüssigkristallmaterialien mit positivem $\Delta\varepsilon$ führt dies bei hohen Feldern zu einer Umorientierung des Flüssigkristalls, bei welcher die Vorzugsrichtung aus der Ebene der Flüssigkristallschicht herausgedreht wird. Dies ist mit einer Domänenbildung verbunden und in vielen Fällen unerwünscht, so daß nur der untere Bereich der elektrooptischen Kennlinie nutzbar wird. Bei Materialien mit negativem $\Delta\varepsilon$ induziert diese Feldkomponente ein Drehmoment, das die Vorzugsrichtung des Flüssigkristalls in die Ebene der Flüssigkristallschicht dreht. Damit wird das vorstehend beschriebene Umorientieren verhindert, und es wird ein wesentlich größerer Teil der elektrooptischen Kennlinie nutzbar.

Hinsichtlich der Ausgangsorientierung des Flüssigkristalls wird es bevorzugt, daß

(a) der Flüssigkristall in seiner Ausgangsorientierung eine unverdrillte Struktur aufweist und durch die überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente in eine verdrillte Struktur umorientierbar ist, bei der die Verdrillungsachse senkrecht zur Flüssigkristallschicht ist, oder daß

(b) der Flüssigkristall in seiner Ausgangsorientierung eine verdrillte Struktur aufweist, deren Verdrillungsachse senkrecht zur Flüssigkristallschicht ist und die durch die überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente entdrillbar ist.

Der sonstige grundsätzliche Aufbau des Flüssigkristallschaltelements ist bevorzugt so ausgebildet, daß

(1) zum Betreiben des elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements in Durchlichtbetriebsweise auf der einen Seite der Flüssigkristallschicht ein Polarisator und auf der anderen Seite ein Analysator vorgesehen ist; oder daß

(2) zum Betreiben des elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements in Reflexionsbetriebsweise auf der einen Seite der Flüssigkristallschicht ein Polarisator/Analysator und auf der anderen Seite ein Reflektor vorgesehen ist.

Hierbei kann ein doppelbrechender optischer Kompensator zwischen der Flüssigkristallschicht und dem Polarisator vorgesehen sein. Der optische Kompensator kann dort, wo, wie im ersteren Fall, ein gesonderter Analysator vorgesehen ist, stattdessen auch zwischen der Flüssigkristallschicht und dem Analysator vorgesehen sein.

Insbesondere kann die Flüssigkristallschicht einen dichroitischen Farbstoff enthalten und auf wenigstens einer Seite derselben ein Polarisator vorgesehen sein.

Vorzugsweise ist das Flüssigkristallschaltelement weiter so ausgebildet, daß dessen Lichttransmission in der Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht ihren maximalen oder minimalen Betrag hat und in umorientierten Zuständen der Flüssigkristallschicht bis zu ihrem anderen Extremwert veränderbar ist.

Besonders bevorzugt wird das erfindungsgemäße Flüssigkristallschaltelement zur Veränderung der Helligkeit und/oder Farbe eines Bildpunkts einer elektrooptischen Darstellungseinrichtung verwendet, wobei diese letztere vorzugsweise ein Bildschirm ist. Die Flüssigkristallschaltelemente der elektrooptischen Darstellungseinrichtung können insbesondere durch eine Transistormatrix oder durch eine Direktansteuereinrichtung im Zeitmultiplexverfahren angesteuert sein.

Die vorstehenden sowie weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung seien nachfolgend anhand von bevorzugten Ausführungsformen von erfindungsgemäßen elektrooptischen Flüssigkristallschaltelementen unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 7 der Zeichnung näher erläutert, welche, soweit sie den Aufbau von bevorzugten Ausführungsformen von elektrooptischen Flüssigkristallschaltelementen nach der Erfindung zeigen, aus Darstellungsgründen absichtlich nicht maßstabsgerecht gezeichnet sind; es zeigen:

Figur 1 einen Teilschnitt durch eine Ausführungsform eines elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements nach der Erfindung, das bevorzugt einen Bildpunkt einer elektrooptischen Darstellungseinrichtung bildet, indem es die Helligkeit und/oder Farbe dieses Bildpunkts steuert, so daß also der Bildschirm einer elektrooptischen Darstellungseinrichtung eine Vielzahl solcher Flüssigkristallschaltelemente umfaßt, die in einer flächigen Matrixanordnung integriert sind;

Figur 2 eine perspektivische Ansicht einer Ausführungsform eines elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements nach der Erfindung für Durchlichtbetriebsweise, wobei die einzelnen Teile, abgesehen von der nur durch Orientierungspfeile angedeuteten Flüssigkristallschicht, im auseinandergezogenen Zustand dargestellt sind;

Figur 3 eine perspektivische Darstellung einer Ausführungsform eines elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements nach der Erfindung für Reflexionsbetriebsweise, wobei ebenfalls die einzelnen Teile, abgesehen von der nur durch Orientierungspfeile angedeuteten Flüssigkristallschicht, im auseinandergezogenen Zustand gezeichnet sind;

Figur 4 eine perspektivische Darstellung einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform;

Figur 5 eine schematische Darstellung des Anstellwinkels α_o, den die Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht bevorzugt mit einer zur Flüssigkristallschicht parallelen Ebene einschließt, sowie des Ausrichtungswinkels β_o, den die überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht ausgerichtete Feldkomponente des den Flüssigkristall umorientierenden elektrischen Feldes vorzugsweise mit der Ausgangsorientierung bildet, welche die Flüssigkristallschicht auf ihrer der felderzeugenden Struktur zugewandten Schichtseite hat;

Figur 6 eine experimentell ermittelte Kurve, welche die Transmission des senkrecht einfallenden Lichts in Abhängigkeit von der angelegten Spannung bei einem typischen Ausführungsbeispiel eines elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements nach der Erfindung zeigt;

Figur 7 rechnerisch ermittelte Werte für die Transmission bei einem typischen Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements, welche zeigen, daß dieses weitestgehend keine Winkelabhängigkeit der Transmission und des Kontrasts hat;

Figur 8 rechnerisch ermittelte Transmissionswerte bei einem bekannten elektrooptischen Flüssigkristallschaltelement, einer sogenannten TN-Zelle, welche in Polarkoordinaten die Winkelabhängigkeit der Transmission veranschaulichen, wobei der Darstellungsmaßstab genau der gleiche wie in Figur 6 ist, so daß aus einem Vergleich zwischen den beiden Figuren 6 und 7 deutlich wird, welche hohe Winkelabhängigkeit der Transmission bei der bekannten TN-Zelle vorliegt und daß demgegenüber bei dem erfindungsgemäßen elektrooptischen Flüssigkristallschaltelement in einem großen Bereich praktisch keine Winkelabhängigkeit der Transmission vorhanden ist.

In der nun folgenden detaillierten Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung sei zunächst auf die Figuren 1 und 2 Bezug genommen, von denen die Figur 1 einen Querschnitt durch eine Ausführungsform eines elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements für Durchlichtbetriebsweise im zusammengebauten Zustand zeigt, während die Figur 2 dieses gleiche Flüssigkristallschaltelement im auseinandergezogenen Zustand der einzelnen Teile desselben sowie in einem gegenüber Figur 1 verkleinerten Maßstab veranschaulicht, wobei außerdem in Figur 2 die untere Orientierungsschicht und die untere Isolierschicht im Gegensatz zu der Figur 1 aus Darstellungsgründen als ebene Schichten gezeichnet sind.

Das elektrooptische Flüssigkristallschaltelement 1 für Durchlichtbetriebsweise, wie es in den Figuren 1 und 2 dargestellt ist, umfaßt eine Flüssigkristallschicht 2, die zwischen zwei Substraten 3 und 4 eingeschlossen ist, die entsprechend der zeichnerischen Darstellung nachstehend als unteres und oberes Substrat bezeichnet werden, obwohl sie in der Praxis jede beliebige Lage haben können. Vorzugsweise sind diese Substrate 3 und 4 Glassubstrate, sie können jedoch auch aus anderen geeigneten durchsichtigen, bevorzugt isolierenden, Materialien, wie beispielsweise Kunststoffen, bestehen. Außerdem sind die Substrate 3 und 4 bevorzugt eben ausgebildet und parallel zueinander angeordnet, so daß die Flüssigkristallschicht 2 bevorzugt eine im wesentlichen ebene bzw. planare Schicht ist.

Um die Flüssigkristallschicht 2 mit einer vorbestimmten Ausgangsorientierung in dem Flüssigkristallschaltelement 1 zu halten, grenzt sie nicht unmittelbar an die beiden Substrate 3 und 4 an, sondern vielmehr an je eine Orientierungsschicht 5 und 6, die nachstehend aufgrund der zeichnerischen Darstellung als untere und obere Orientierungsschicht bezeichnet sind. Die obere Orientierungsschicht 6 ist unmittelbar auf das obere Substrat 4 aufgebracht, während dagegen zwischen dem unteren Substrat 3 und der unteren Orientierungsschicht 5 eine felderzeugende Struktur 7 und gegebenenfalls eine Isolierschicht 8 vorgesehen ist, so daß auf das untere Substrat 3 die felderzeugende Struktur 7, die Isolierschicht 8 und die untere Orientierungsschicht 5 in der vorstehend angegebenen Reihenfolge aufgebracht sind.

Die felderzeugende Struktur 7 umfaßt Streifen- oder Linienelektroden 9 und 10, die parallel zueinander und parallel zur Flüssigkristallschicht 2 verlaufen. Hierbei wechseln die Streifen- oder Linienelektroden 9 mit den Streifen- oder Linienelektroden 10 ab, wie die Figuren 1 und 2 zeigen, wobei die Streifen- oder Linienelektroden 9 an ein gegenüber den Streifen- oder Linienelektroden 10 unterschiedliches elektrisches Potential angeschlossen sind, so daß zwischen den Streifen- oder Linienelektroden 9 und 10 jeweils ein elektrisches Feld erzeugt wird, das eine überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht 2 ausgerichtete Feldkomponente hat. Beispielsweise sind, wie Figur 2 zeigt, die Streifenoder Linienelektroden 9 an den einen Pol einer Spannungsquelle 11 angeschlossen, während die Streifen- oder Linienelektroden 10 an den anderen Pol dieser Spannungsquelle 11 angeschlossen sind. Obwohl die Spannungsquelle 11 aus prinzipiellen Gründen als Gleichstromquelle dargestellt ist und im Prinzip auch eine solche Gleichstromquelle sein könnte, wird in der Praxis zur Vermeidung einer Degradation der Flüssigkristallschicht und der damit verbundenen Schwierigkeiten eine Wechselstrom-Spannungsquelle 11 verwendet.

Die Streifen- oder Linienelektroden 9 und 10 sind in der vorliegend dargestellten Ausführungsform des Flüssigkristallschaltelements 1 kammartig ineinandergreifend in der gleichen Ebene, nämlich auf der Oberfläche einer isolierenden Basisschicht 12, die auch von der Oberfläche des Substrats 3 gebildet sein kann, ausgebildet, indem die Streifen- oder Linienelektroden 9 durch eine quer, insbesondere senkrecht, dazu ver-

laufende streifen- oder linienförmige Querelektrode 13 elektrisch miteinander zu einer ersten Kammstruktur verbunden sind, und indem die Streifen- oder Linienelektroden 10 durch eine quer, insbesondere senkrecht, zu ihnen verlaufende weitere streifen- oder linienförmige Querelektrode 14 elektrisch zu einer zweiten Kammstruktur miteinander verbunden sind, und indem ferner die beiden Kammstrukturen ineinandergreifend angeordnet sind, wie besonders gut aus den Figuren 2 und 3 ersichtlich ist.

Eine andere, in den Figuren der Zeichnung nicht dargestellte Möglichkeit besteht darin, die Streifen- oder Linienelektroden 9 auf der Oberseite der isolierenden Basisschicht 12 anzuordnen, während die Streifen- oder Linienelektroden 10 auf der Unterseite der isolierenden Basisschicht 12 angeordnet werden, oder umgekehrt. In diesem Fall können die Streifen- oder Linienelektroden als einfache parallele Streifen oder Linien ausgebildet sein, ohne daß kammartige Strukturen benötigt werden.

Außerdem umfaßt das in den Figuren 1 und 2 dargestellte Flüssigkristallschaltelement 1 noch einen Polarisator 15 auf der Außenseite des Substrats 3 und einen Analysator 16 auf der Außenseite des Substrats 4. Je nach der Lichtdurchgangsrichtung können auch Polarisator und Analysator vertauscht sein. Schließlich ist noch ein optischer Kompensator 17 zwischen dem Polarisator 15 und dem Substrat 3 vorgesehen. Dieser optische Kompensator 17 kann stattdessen auch zwischen dem Analysator 16 und dem Substrat 4 angeordnet sein.

Die Figur 3 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Ausführungsform eines elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements 18 für Reflexionsbetriebsweise in auseinandergezogener Darstellung der einzelnen Teile dieses Flüssigkristallschaltelements 18, das sich in seinem äußeren Aufbau von dem Flüssigkristallschaltelement 1 gemäß den Figuren 1 und 2 lediglich dadurch unterscheidet, daß anstelle des in den Figuren 1 und 2 gezeigten Analysators 16 ein Reflektor 19 vorgesehen ist, der in der dargestellten Ausführungsform aus einem Substrat 20, beispielsweise einem Glassubstrat, und einer Reflexionsschicht 21 besteht, die auf der der Flüssigkristallschicht 2 zugewandten Seite des Substrats 20 vorgesehen ist. Entsprechend diesem Aufbau ist der nunmehr noch verbleibende Polarisator gleichzeitig auch der Analysator und wird demgemäß zur Unterscheidung von den Figuren 1 und 2 als Polarisator/Analysator 22 bezeichnet.

Eine weitere Ausführungsform eines elektrooptischen Schaltelements 28 für Reflexionsbetriebsweise, die in Figur 4 dargestellt ist, unterscheidet sich von dem elektrooptischen Schaltelement 1 gemäß Figuren 1 und 2 zum Beispiel dadurch, daß in den Figuren 1 und 2 anstelle der Isolierschicht 8 ein dielektrischer Spiegel 8a vorgesehen ist und der doppelbrechende Kompensator 17 gegebenenfalls zwischen Substrat 4 und Analysator 16 vorgesehen ist. Als Analysator 16 ist ein Analysator/Polarisator 22 vorgesehen, der dann als Polarisator und Analysator wirkt, so daß der Polarisator 15 der Figuren 1 und 2 entfällt. Diese Ausführungsform hat insbesondere den Vorteil, daß weder die Elektrodenstruktur 7 noch das Substrat 3 transparent zu sein brauchen, wenn der dielektrische Spiegel 8a zwischen dem Flüssigkristall 2 einerseits und der Anordnung aus der Elektrodenstruktur 7 und dem Substrat 3 andererseits vorgesehen ist, wie Figur 4 zeigt, wobei sich die Orientierungsschicht 5 zwischen dem Flüssigkristall 2 und dem dielektrischen Spiegel 8a befindet. Die Orientierungsschicht 5 kann auch Bestandteil des dielektrischen Spiegels 8a sein. Die Elektrodenstruktur 7 kann auch auf dem dielektrischen Spiegel 8a, insbesondere auf dessen dem Flüssigkristall 2 zugewandten Seite, vorgesehen sein.

Im übrigen sind, da der äußere Aufbau des Flüssigkristallschaltelements 18 und 28 ansonsten gleich demjenigen des Flüssigkristallschaltelements 1 ist, die gleichen Bezugszeichen wie in den Figuren 1 und 2 verwendet, und insofern wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf die entsprechenden Erläuterungen zu den Figuren 1 und 2 verwiesen.

Es sei nun näher auf den inneren Aufbau der Flüssigkristallschaltelemente 1, 18 und 28 eingegangen, das heißt auf die jeweiligen für den Betrieb des Flüssigkristallschaltelements 1, 18 und 28 wichtigen Parameter der Flüssigkristallschicht, der Orientierungsschichten, der Polarisatoren, der felderzeugenden Struktur etc., die in der nachfolgenden Tabelle 1 angegeben und, soweit möglich, in den Figuren 2 und 3 eingezeichnet sind:

Tabelle 1

Zur Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen der Flüssigkristallschaltelemente hinsichtlich ihrer physikalischen Ausbildung werden folgende Parameter verwendet:

β = Verdrillungswinkel des Flüssigkristalls 2 in dessen Ausgangsorientierung, das heißt Winkel zwischen dem Direktor am Substrat 3 bzw. in der Orientierungsschicht 5 und dem Direktor am Substrat 4 bzw. in der Orientierungsschicht 6.

β_o = Ausrichtungswinkel, der überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht 2 ausgerichteten elektrischen Feldkomponente, die von der felderzeugenden Struktur 7 erzeugt wird, zu der Vorzugsrichtung der Molekülachsen des Flüssigkristalls 2, die diese in der Ausgangsorientierung des Flüssigkristalls 2 auf der Schichtseite der Flüssigkristallschicht 2 haben, welche der felderzeugenden Struktur 7 zugewandt ist, also an der Orientierungsschicht 5; dieser Winkel ist gleich dem Winkel zwischen dem Direktor am Substrat 3 bzw. in der Orientierungsschicht 5 und der Senkrechten zu der Längsrichtung der Streifen- oder Linienelektroden 9, 10 in der Ebene dieser Streifen- oder Linienelektroden.

α_o = Anstellwinkel, den die Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht 2 zumindest auf ihrer der felderzeugenden Struktur 7 zugewandten Schichtseite der Flüssigkristallschicht 2 mit einer zur Flüssigkristallschicht 2 parallelen Ebene einschließt, wobei hier unter der Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht die Vorzugsrichtung der Molekülachsen des Flüssigkristalls 2 in der Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht verstanden wird.

ψ = Winkel zwischen dem Direktor an dem Substrat 3 bzw. in der Orientierungsschicht 5 und der Durchlaßrichtung des Polarisators 15 bzw. des Polarisators/Analysators 22.

ψ' = Winkel zwischen dem Direktor an dem Substrat 3 bzw. in der Orientierungsschicht 5 und der Durchlaßrichtung des Analysators 16.

$|\psi - \psi'|$ = Winkel zwischen der Durchlaßrichtung von Polarisator und Analysator

d = Dicke der Flüssigkristallschicht 2

$\varepsilon_\parallel$, $\varepsilon_\perp$ = Dielektrizitätskonstanten parallel bzw. senkrecht zum Direktor des Flüssigkristalls

$\Delta\varepsilon$ = Dielektrizitätsanisotropie des Flüssigkristalls = Differenz zwischen $\varepsilon_\parallel$ und $\varepsilon_\perp$ d.h. $\Delta\varepsilon = \varepsilon_\parallel - \varepsilon_\perp$

n_o, n_e = ordentlicher bzw. außerordentlicher Brechungsindex des Flüssigkristalls

λ = Lichtwellenlänge

Δn = $n_e - n_o$

In den Figuren 2 und 3 sind durch die Pfeile 23 bis 27 Vorzugsrichtungen des Flüssigkristalls 2 angedeutet, wobei insbesondere durch den Pfeil 23 die Vorzugsrichtung an der Orientierungsschicht 5 und durch den Pfeil 27 die Vorzugsrichtung an der Orientierungsschicht 6 angedeutet ist, während die Pfeile 24, 25 und 26 Vorzugsrichtungen im Zwischenbereich darstellen, die zur besseren Veranschaulichung der Flüssigkristallverdrillung eingezeichnet sind. Der Anstellwinkel α_o und der Ausrichtungswinkel β_o sind in Figur 5 dargestellt, wobei die x- und y-Achse eine parallel zur Flüssigkristallschicht 2 verlaufende Ebene definieren, während die z-Achse senkrecht zur Flüssigkristallschicht 2 verläuft, das heißt der Dickenrichtung der Flüssigkristallschicht entspricht, während die x- und y-Achse der Breiten- und Längenrichtung der Flüssigkristallschicht 2 entsprechen.

In den nachstehenden Tabellen 2 und 3 sind bevorzugte Ausgangszustände für die Durchlichtbetriebsweise und die Reflexionsbetriebsweise gegeben, wobei unter dem Ausgangszustand der Zustand verstanden wird, der vorhanden ist, wenn kein elektrisches Feld über die felderzeugende Struktur 7 angelegt ist.

Tabelle 2: Bevorzugte Ausgangszustände in homogener planarer Orientierung für Durchlichtbetriebsweise

Ausgangszustand	β	Δε	d x Δn/λ	α_0	β_0	ψ	$\lvert\psi - \psi'\rvert$
D1	0° ± 15°	> 0	> 0, < 4	> 0°, < 30°	> 70°,< 90°	0°, 90°	90°, 0° bevorzugt 90°
D2	0° ± 15°	< 0	> 0, < 4	> 0°, < 30°	> 0°,< 20°	0°, 90°	90°, 0°, bevorzugt 90°
D3	90° ± 15°	> 0	> 0, < 4 bevorzugt: $1/2\sqrt{3}$, $1/2\sqrt{15}$, $1/2\sqrt{35}$	> 0°, < 30°	> 70°,< 90°	0°, 90°	0°, 90° bevorzugt 0°
D4	90° ± 15°	< 0	> 0,< 4 bevorzugt: $1/2\sqrt{3}$, $1/2\sqrt{15}$, $1/2\sqrt{35}$	> 0°, < 30°	> 0°,< 20°	0°, 90°	0° ,90° bevorzugt 0°

Tabelle 3: Bevorzugte Ausgangszustände in homogener planarer Orientierung für Reflexionsbetriebsweise

Ausgangszustand	β	Δε	d x Δn/λ	α_o	β_o	ψ	$\lvert\psi - \psi'\rvert$
R1	0° ± 15°	> 0	> 0, < 2 bevorzugt 0,36	> 0°, < 30°	> 70°, < 90°	0°,90°	90°, 0° bevorzugt 90°
R2	0° ± 15°	< 0	> 0, < 2 bevorzugt 0,36	> 0°, < 30°	> 0°, < 20°	0°, 90°	90°, 0° bevorzugt 90°
R3	60° ± 5°	> 0	> 0, < 2 bevorzugt 0,36	> 0°, < 30°	> 70°, < 90°	0°, 90°	0°, 90°
R4	60° ± 5°	< 0	> 0, < 2 bevorzugt 0,36	> 0°, < 30°	> 0°, ≤ 20°	0°, 90°	0°,90°

Es sei hier darauf hingewiesen, daß die Angaben der Werte von d x Δn/λ sowie von α_o und von β_o Bereichsangaben sind, das heißt, daß die beiden mit dem Zeichen ≧ oder ≦ oder > oder < versehenen Werte

jeweils die beiden Bereichsgrenzen angeben, und zwar je nach dem Zeichen unter Einschluß oder Ausschluß dieser Bereichsgrenze.

Bei der Anwendung des elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements 1 oder 18 oder 28 zur Veränderung der Helligkeit und/oder Farbe eines Bildpunkts einer elektrooptischen Darstellungseinrichtung bildet das jeweilige Flüssigkristallschaltelement 1 oder 18 gemäß den Figuren 1, 2 oder 3 einen einzigen Bildpunkt, so daß eine große Vielzahl solcher Flüssigkristallschaltelemente 1, 18 oder 28 zu einem Bildschirm integriert ist, wobei natürlich die Substrate, die Orientierungsschichten, die Polarisatoren, die Analysatoren bzw. die Polarisatoren/ Analysatoren, die Reflektoren und die optischen Kompensatoren, die in den Figuren 1 bis 3 aus Darstellungsgründen als Einzelteile gezeichnet sind, jeweils ein für alle Bildpunkte gemeinsames, vorzugsweise einstückiges, Bauteil bilden, während jeder einzelne Bildpunkt seine eigene felderzeugende Struktur 7 hat. Diese felderzeugende Struktur kann, sofern sie keine Kammstruktur der in den Figuren 1 bis 3 dargestellten Art ist, auch aus insgesamt über die gesamte Fläche der elektrooptischen Darstellungseinrichtung hindurchgehenden Streifen- oder Linienelektroden aufgebaut sein, sofern sie in entsprechender Weise, beispielsweise im Zeitmultiplexverfahren schnittpunktweise angesteuert wird.

Es seien nachstehend bevorzugte Größen für die Flüssigkristallschaltelemente angegeben, die insbesondere für den Fall gelten, wenn die Flüssigkristallschaltelemente als Bildpunkte in einer elektrooptischen Darstellungseinrichtung verwendet werden:

Dicke der Flüssigkristallschicht:	1 µm bis 10 µm
Flächige Größe der einem Bildpunkt entsprechenden felderzeugenden Struktur:	Quadrat mit einer Kantenlänge von 10 µm bis 1 mm
Abstand zwischen benachbarten Streifen- oder Linienelektroden:	2 µm bis 50 µm
Spannung zwischen benachbarten Streifen- oder Linienelektroden bei maximalem Kontrast:	1 Volt bis 80 Volt

Es sei darauf hingewiesen, daß das Anbringen einer Polarisationsfolie, das heißt des Polarisators/Analysators 22 vor dem reflektiven Flüssigkristallschaltelement 18 oder 28 parallelen Polarisatoren 15, 16 (das heißt einem in der Durchlaßrichtung zum Polarisator 15 parallelen Analysator 16) entspricht. Die Verwendung eines reflektiven Flüssigkristallschaltelements 18 oder 28, in Kombination mit einem polarisierenden Strahlteiler (McNeille-Prisma) entspricht gekreuzten Polarisatoren 15, 16 in dem transmissiven Flüssigkristallschaltelement 1. Diese Anordnung eignet sich insbesondere für lichtstarke Projektoren.

Die Funktionsweise, insbesondere das optische Verhalten, der beschriebenen Flüssigkristallschaltelemente 1 und 18 sowie 28 wurde mittels Computersimulation untersucht und durch experimen- telle Untersuchung von entsprechend ausgebildeten Flüssig- kristallschaltelementen bestätigt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Figuren 6 und 7 wiedergegeben, und in Figur 8 ist das Ergebnis einer Vergleichsuntersuchung an einem TN-Flüssigkristallschalt- element, also einem bekannten Flüssigkristallschaltelement mit spiralig-nematischem Flüssigkristall, wiedergegeben.

Das dem Untersuchungsergebnis der Figur 6 zugrundeliegende Flüssigkristallschaltelement mit dem Aufbau gemäß den Figuren 1 und 2 hatte folgende Auslegungsgrößen:

Dicke der Flüssigkristallschicht	= 6,9 µm
Dielektrizitätsanisotropie	= -1,5
Optische Weglänge d x $\Delta n/\lambda$	= 0,865
Ausgangsverdrillungswinkel β	= 0°
Ausrichtungswinkel β_o	= 5°
Anstellwinkel α_o	= 5°
Winkel zwischen Polarisator und Analysator	= 90°

Zu den Figuren 7 und 8 ist folgendes erläuternd hinzuzufügen:

Der Winkel THETA ist der Winkel zwischen der Beobachtungsrichtung und der Senkrechten auf der Flüssigkristallschicht. Auf den Achsen der Polarkoordinatendarstellung ist die Intensität des Transmissionslichts angegeben. Die Transmission beträgt für senkrechte Inzidenz ca. 25%.

Es sei darauf hingewiesen, daß im elektrooptischen Schaltelement 1 gemäß Figur 1 und 2 bei Verwendung von zum Beispiel flüssigkristallinen Polymeren die Orientierungsschicht 6 und das Substrat 4 gegebenenfalls entfallen können. Entsprechend können die Ausführungsformen der elektrooptischen Schaltelemente für Reflexionsbetriebsweise modifiziert werden. Der Begriff "Flüssigkristall" umfaßt daher in der vorliegenden Beschreibung und in den Ansprüchen auch flüssigkristalline Polymere oder andere flüssigkristalline Substanzen.

Die bei der Erfindung verwendeten Flüssigkristalle sind vorzugsweise, jedoch keineswegs ausschließlich, nematische Flüssigkristalle oder nematische flüssigkristalline Polymere.

Patentansprüche

1. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement, umfassend eine Flüssigkristallschicht (2) mit wenigstens einem Substrat (3) und einen Polarisator und Analysator (15, 16; 22) sowie eine auf dem Substrat (3) angeordnete Elektrodenstruktur (7) zum Erzeugen eines elektrischen Feldes, welches eine überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht (2) ausgerichtete Feldkomponente hat, wobei
   (a) die Flüssigkristallschicht (2) eine verdrillbare Struktur aufweist und die Richtung der Polarisation von Licht, welches durch die Flüssigkristallschicht (2) hindurchgeht, vom Verdrillungsgrad der Flüssigkristallschicht (2) abhängt;
   (b) die Flüssigkristallschicht (2) in einer Ausgangsorientierung verankert ist, in welcher ihre Verdrillungsachse senkrecht oder im wesentlichen senkrecht zur Flüssigkristallschicht (2) bleibt; und
   (c) die überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht (2) ausgerichtete Feldkomponente der Elektrodenstruktur (7) derart veränderbar ist, daß damit der Verdrillungsgrad der Flüssigkristallschicht (2) verändert wird;
   dadurch **gekennzeichnet**, daß die Ausgangsorientierung der Flüssigkristallschicht (2) zumindest auf ihrer der Elektrodenstruktur (7) zugewandten Schichtseite einen Anstellwinkel (α_o), der größer als 0° und kleiner als 30° ist, mit einer zur Flüssigkristallschicht (2) parallelen Ebene einschließt, so daß sich eine Deformierbarkeit der Flüssigkristallschicht (2) beim Anlegen des elektrischen Feldes in unmittelbarer Nähe der Verankerung der Flüssigkristallschicht ergibt.

2. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß die überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht (2) ausgerichtete Feldkomponente der Elektrodenstruktur (7) derart veränderbar ist, daß zur kontinuierlichen oder stufenweisen Einstellung unterschiedlicher Lichttransmissionsgrade des Flüssigkristallschaltelements (1, 18, 28) im Bereich zwischen im wesentlichen maximaler und minimaler Lichttransmission der Verdrillungsgrad der Flüssigkristallschicht (2) kontinuierlich oder stufenweise verändert wird.

3. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß die überwiegend parallel zur Flüssigkristallschicht (2) ausgerichtete Feldkomponente einen Ausrichtungswinkel (β_o), der größer als 0° und kleiner als 90° ist, mit der Vorzugsrichtung bildet, welche die Flüssigkristallschicht (2) auf ihrer der Elektrodenstruktur (7) zugewandten Schichtseite in ihrer Ausgangsorientierung hat.

4. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Ausrichtungswinkel (β_o) bei positiver Dielektrizitätsanisotropie ($\Delta\varepsilon$) des Flüssigkristalls (2) größer als 70° und kleiner als 90° ist.

5. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Flüssigkristall (2) eine negative Dielektrizitätsanisotropie ($\Delta\varepsilon$) hat, wobei der Ausrichtungswinkel (β_o) kleiner als 20° und größer als 0° ist.

6. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Elektrodenstruktur (7) Streifen- oder Linienelektroden (9, 10) umfaßt, die parallel zueinander und parallel zur Flüssigkristallschicht (2) verlaufen und alternierend mit einem unterschiedlichen elektrischen Potential beaufschlagt sind.

7. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Streifen- oder Linienelektroden (9, 10) alternierend in wenigstens zwei zur Flüssigkristallschicht (2) parallelen Ebenen angeordnet sind.

8. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß die mit unterschiedlichem Potential beaufschlagten Streifen- oder Linienelektroden (9, 10) kammartig ineinandergreifend in der gleichen Ebene angeordnet sind.

9. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß zum Betreiben des elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements (1) in Durchlichtbetriebsweise auf der einen Seite der Flüssigkristallschicht (2) der Polarisator (15) und auf der anderen Seite der Analysator (16) vorgesehen ist.

10. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß zum Betreiben des elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements (18, 28) in Reflexionsbetriebsweise auf der einen Seite der Flüssigkristallschicht (2) ein Polarisator/Analysator (22) und auf der anderen Seite ein Reflektor (8a, 19) vorgesehen ist.

11. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach Anspruch 10, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Reflektor (8a, 19) ein dielektrischer Spiegel ist.

12. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach Anspruch 11, dadurch **gekennzeichnet**, daß der dielektrische Spiegel (8a) zwischen der Flüssigkristallschicht (2) und dem einen Substrat (3) angeordnet ist.

13. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch **gekennzeichnet**, daß ein doppelbrechender optischer Kompensator (17) zwischen der Flüssigkristallschicht (2) einerseits und dem Polarisator (15) und/oder Analysator (16) oder dem Polarisator/Analysator (22) andererseits vorgesehen ist.

14. Elektrooptisches Flüssigkristallschaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Flüssigkristallschicht (2) einen dichroitischen Farbstoff enthält und auf wenigstens einer Seite derselben ein Polarisator (15) vorgesehen ist.

15. Anwendung des elektrooptischen Flüssigkristallschaltelements nach einem der Ansprüche 1 bis 14 zur Veränderung der Helligkeit und/oder Farbe eines Bildpunkts einer elektrooptischen Darstellungseinrichtung.

16. Anwendung nach Anspruch 15, dadurch **gekennzeichnet**, daß die elektrooptische Darstellungseinrichtung ein Bildschirm ist

17. Anwendung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch **gekennzeichnet**, daß die elektrooptischen Flüssigkristallschaltelemente (1, 18, 28) der Darstellungseinrichtung durch eine Transistormatrix angesteuert sind.

18. Anwendung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch **gekennzeichnet**, daß die elektrooptischen Flüssigkristallschaltelemente (1, 18, 28) der Darstellungseinrichtung durch eine Direktansteuereinrichtung im Zeitmultiplexverfahren angesteuert sind.

Claims

1. Electrooptical liquid-crystal switch element, comprising a liquid-crystal layer (2) with at least one substrate (3), and a polarizer and analyser (15, 16; 22), and an electrode structure (7) disposed on the substrate (3) for generating an electric field having a component which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer (2),

   (a) the liquid-crystal layer (2) having a twistable structure and the direction of polarization of light which passes through the liquid-crystal layer (2) depending on the degree of twisting of the liquid-crystal layer (2);

(b) the liquid-crystal layer (2) being anchored in an initial orientation in which its axis of twisting remains perpendicular, or essentially perpendicular, to the liquid-crystal layer (2); and

(c) that field component of the electrode structure (7) which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer (2) being capable of alteration in such a way that the degree of twisting of the liquid-crystal layer (2) is consequently altered;

characterized in that the initial orientation of the liquid-crystal layer (2), at least on its layer side adjacent to the electrode structure (7), encloses a pitch angle (α_0) which is greater than 0° and less than 30° with a plane parallel to the liquid-crystal layer (2), with the result that a deformability of the liquid-crystal layer (2) is produced in the immediate vicinity of the anchoring of the liquid-crystal layer on applying the electric field.

2. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 1, characterized in that that field component of the electrode structure (7) which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer (2) can be altered in such a way that the degree of twisting of the liquid-crystal layer (2) is altered continuously or stepwise for the purpose of continuously or stepwise setting of different degrees of light transmission of the liquid-crystal switch element (1, 18, 28)) in the range between essentially maximum and minimum light transmission.

3. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 1 or 2, characterized in that the field component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer (2) forms an alignment angle (β_0) which is greater than 0° and less than 90° with the preferred direction which the liquid-crystal layer (2) has on its layer side, adjacent to the electrode structure (7), in its initial orientation.

4. Electrooptical liquid-crystal element according to Claim 3, characterized in that the alignment angle (β_0) is greater than 70° and less than 90° for positive dielectric anisotropy ($\Delta\varepsilon$) of the liquid crystal (2).

5. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 3, characterized in that the liquid crystal (2) has a negative dielectric anisotropy ($\Delta\varepsilon$), the alignment angle (β_0) being less than 20° and greater than 0°.

6. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 5, characterized in that the electrode structure (7) comprises strip or line electrodes (9, 10) which extend parallel to one another and parallel to the liquid-crystal layer (2) and are alternately acted on by a different electrical potential.

7. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 6, characterized in that the strip or line electrodes (9, 10) are disposed alternately in at least two planes parallel to the liquid-crystal layer (2).

8. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 6, characterized in that the strip or line electrodes (9, 10) acted on by different potential are disposed in the same plane so as to intermesh in comb fashion.

9. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 8, characterized in that, to operate the electrooptical liquid-crystal switch element (1) in the transmitted-light mode, the polarizer (15) is provided on one side of the liquid-crystal layer (2) and the analyzer (16) on the other side.

10. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 8, characterized in that, to operate the electrooptical liquid-crystal switch element (18, 28) in the reflection mode, a polarizer/analyser (22) is provided on one side of the liquid-crystal layer (2) and a reflector (8a, 19) on the other side.

11. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 10, characterized in that the reflector (8a, 19) is a dielectric mirror.

12. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 11, characterized in that the dielectric mirror (8a) is disposed between the liquid-crystal layer (2) and one substrate (3).

13. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 9 to 12, characterized in that a birefringent optical compensator (17) is provided between the liquid-crystal layer (2), on the one hand, and the polarizer (15) and/or analyser (16) or the polarizer/analyser (22), on the other.

14. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 13, characterized in that the

liquid-crystal layer (2) contains a dichroic dyestuff and a polarizer (15) is provided on at least one side of the latter.

15. Use of the electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 14 to alter the brightness and/or colour of a pixel of an electrooptical display device.

16. Use according to Claim 15, characterized in that the electrooptical display device is a viewing screen.

17. Use according to Claim 15 or 16, characterized in that the electrooptical liquid-crystal switch elements (1, 18, 28) of the display device are driven by a transistor matrix.

18. Use according to Claim 15 or 16, characterized in that the electrooptical liquid-crystal switch elements (1, 18, 28) of the display device are driven by a direct drive device in time-division multiplexing.

Revendications

1. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides, comprenant une couche de cristaux liquides (2), au moins un substrat (3), un polariseur et un analyseur (15, 16 ; 22), ainsi qu'une structure d'électrodes (7) disposée sur le substrat (3) pour produire un champ électrique qui possède une composante de champ orientée principalement parallèlement à la couche de cristaux liquides (2),
   (a) la couche de cristaux liquides (2) présentant une structure rotative, et la direction de polarisation de la lumière qui traverse la couche de cristaux liquides (2) dépendant du degré de rotation de la couche de cristaux liquides (2) ;
   (b) la couche de cristaux liquides (2) étant ancrée dans une orientation initiale dans laquelle son axe de rotation reste perpendiculaire ou sensiblement perpendiculaire à la couche de cristaux liquides (2) ; et
   (c) la composante de champ de la structure d'électrodes (7) qui est orientée principalement parallèlement à la couche de cristaux liquides (2) pouvant être modifiée de façon que le degré de rotation de la couche de cristaux liquides (2) soit ainsi modifié ;
   caractérisé en ce que l'orientation initiale de la couche de cristaux liquides (2), au moins sur le côté de la couche qui est tourné vers la structure d'électrodes (7), forme un angle d'incidence (α_o), qui est supérieur à 0° et inférieur à 30°, avec un plan parallèle à la couche de cristaux liquides (2), de sorte qu'on obtient une faculté de déformation de la couche de cristaux liquides (2) lors de l'application du champ électrique au voisinage immédiat de l'ancrage de la couche de cristaux liquides.

2. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon la revendication 1, **caractérisé** en ce que la composante de champ de la structure d'électrodes (7) qui est orientée principalement parallèlement à la couche de cristaux liquides (2) peut être modifiée de façon que le degré de rotation de la couche de cristaux liquides (2) soit modifié en continu ou par paliers, afin de régler en continu ou par paliers des degrés différents de transmission de lumière de l'élément de circuit à cristaux liquides (1, 18, 28) dans la plage comprise entre une transmission de lumière sensiblement maximale et sensiblement minimale.

3. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé** en ce que la composante de champ orientée principalement parallèlement à la couche de cristaux liquides (2) forme un angle d'orientation (β_o), qui est supérieur à 0° et inférieur à 90°, avec la direction privilégiée que possède la couche de cristaux liquides (2) dans son orientation initiale sur son côté tourné vers la structure d'électrodes (7).

4. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon la revendication 3, **caractérisé** en ce que l'angle d'orientation (β_o) est supérieur à 70° et inférieur à 90° en présence d'une anisotropie diélectrique ($\Delta 2$) positive du cristal liquide (2).

5. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon la revendication 3, **caractérisé** en ce que le cristal liquide (2) possède une anisotropie diélectrique ($\Delta 2$) négative, l'angle d'orientation (β_o) étant inférieur à 20° et supérieur à 0°.

6. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé** en ce que la structure d'électrodes (7) comprend des électrodes en bandes ou en lignes (9,

10), qui s'étendent parallèlement entre elles et parallèlement à la couche de cristaux liquides (2) et sont alternativement sollicitées par un potentiel électrique différent.

7. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon la revendication 6, **caractérisé** en ce que les électrodes en bandes ou en lignes (9, 10) sont alternativement disposées dans au moins deux plans parallèles à la couche de cristaux liquides (2).

8. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon la revendication 6, **caractérisé** en ce que les électrodes en bandes ou en lignes (9, 10) sollicitées par des potentiels différents sont disposées dans le même plan en s'engageant les unes dans les autres à la manière d'un peigne.

9. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé** en ce qu'afin d'exploiter l'élément de circuit électro-optique à cristaux liquides (1) par transmission, le polariseur (15) est prévu sur un côté de la couche de cristaux liquides (2) et l'analyseur (16) sur l'autre côté.

10. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé** en ce qu'afin d'exploiter l'élément de circuit électro-optique à cristaux liquides (18, 28) par réflexion, un polariseur/analyseur (22) est prévu sur un côté de la couche de cristaux liquides (2) et un réflecteur (8a, 19) sur l'autre côté.

11. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon la revendication 10, **caractérisé** en ce que le réflecteur (8a, 19) est un miroir diélectrique.

12. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon la revendication 11, **caractérisé** en ce que le miroir diélectrique (8a) est disposé entre la couche de cristaux liquides (2) et l'un (3) des substrats.

13. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, **caractérisé** en ce qu'un compensateur optique biréfringent (17) est prévu entre la couche de cristaux liquides (2) d'une part, et le polariseur (15) et/ou l'analyseur (16) ou le polariseur/analyseur (22) d'autre part.

14. Elément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé** en ce que la couche de cristaux liquides (2) contient un colorant dichroïque, et un polariseur (15) est prévu sur au moins un côté de cette couche.

15. Utilisation de l'élément de circuit électro-optique à cristaux liquides selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 pour modifier la luminosité et/ou la couleur d'un point d'image d'un dispositif d'affichage électro-optique.

16. Utilisation selon la revendication 15, **caractérisée** en ce que le dispositif d'affichage électro-optique est un écran.

17. Utilisation selon la revendication 15 ou 16, **caractérisée** en ce que les éléments de circuit électro-optiques à cristaux liquides (1, 18, 28) du dispositif d'affichage sont asservis par une matrice de transistors.

18. Utilisation selon la revendication 15 ou 16, **caractérisée** en ce que les éléments de circuit électro-optiques à cristaux liquides (1, 18, 28) du dispositif d'affichage sont asservis par un dispositif d'asservissement direct en multiplexage dans le temps.

FIG. 1

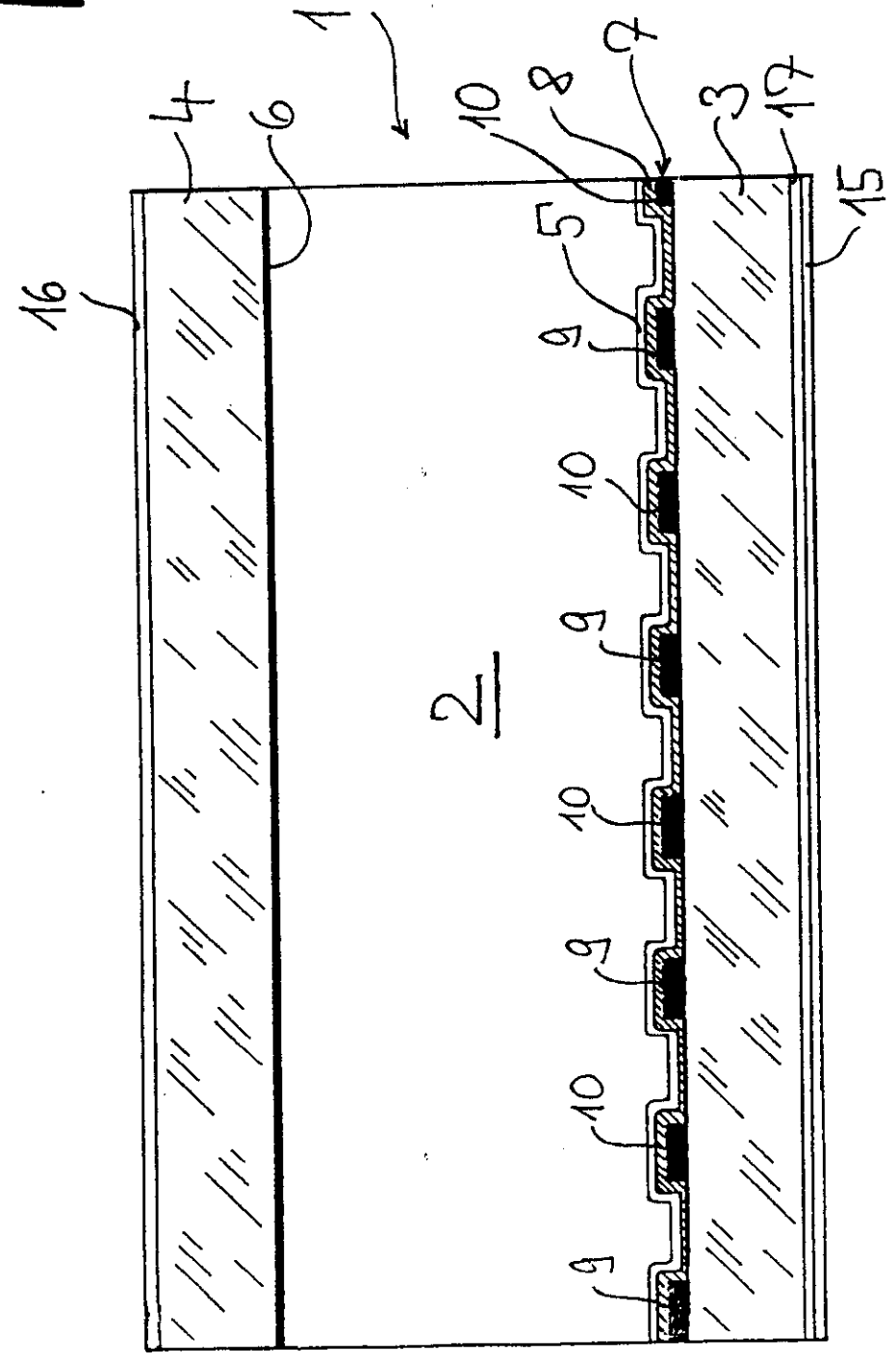


FIG. 2

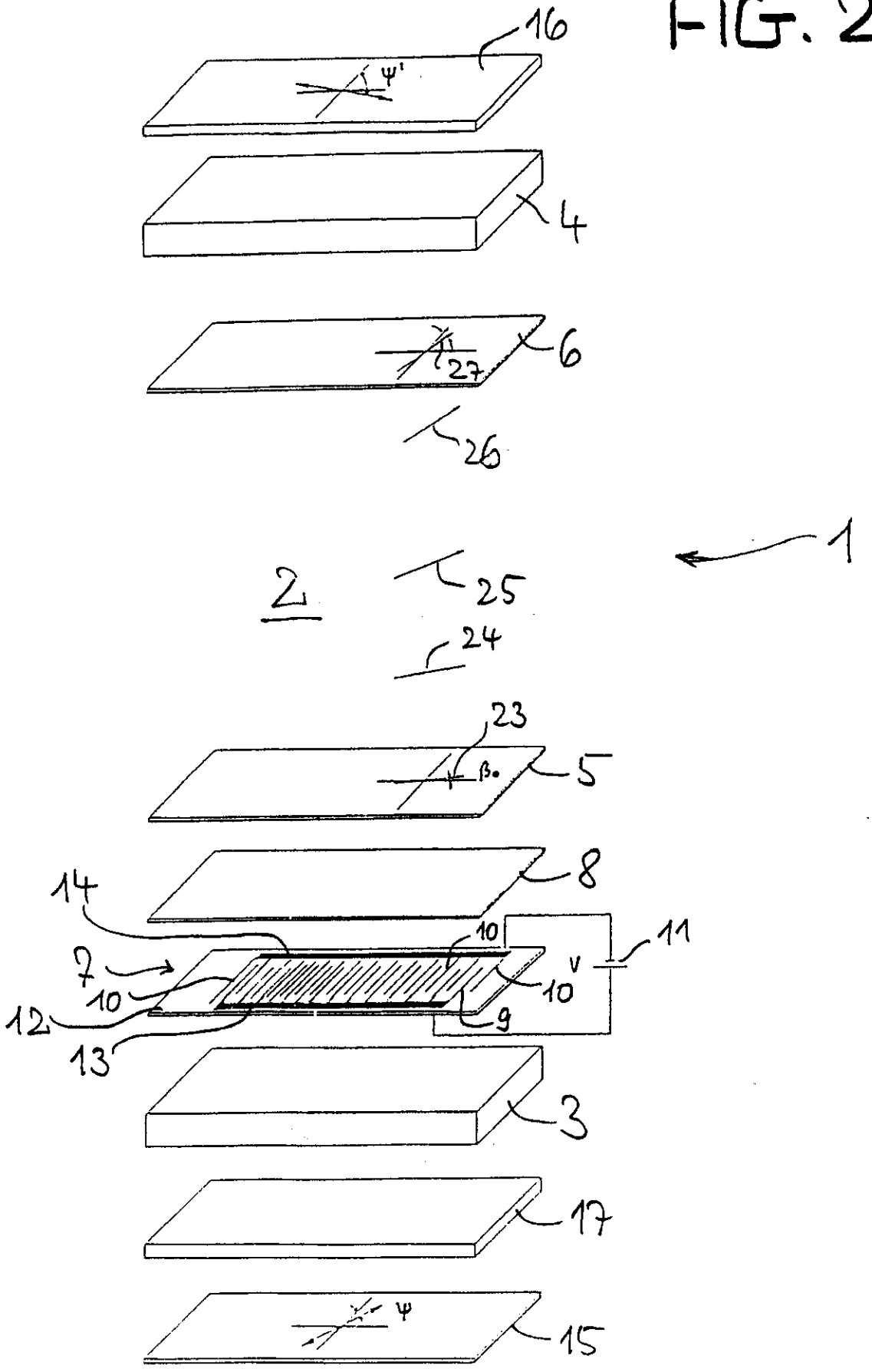
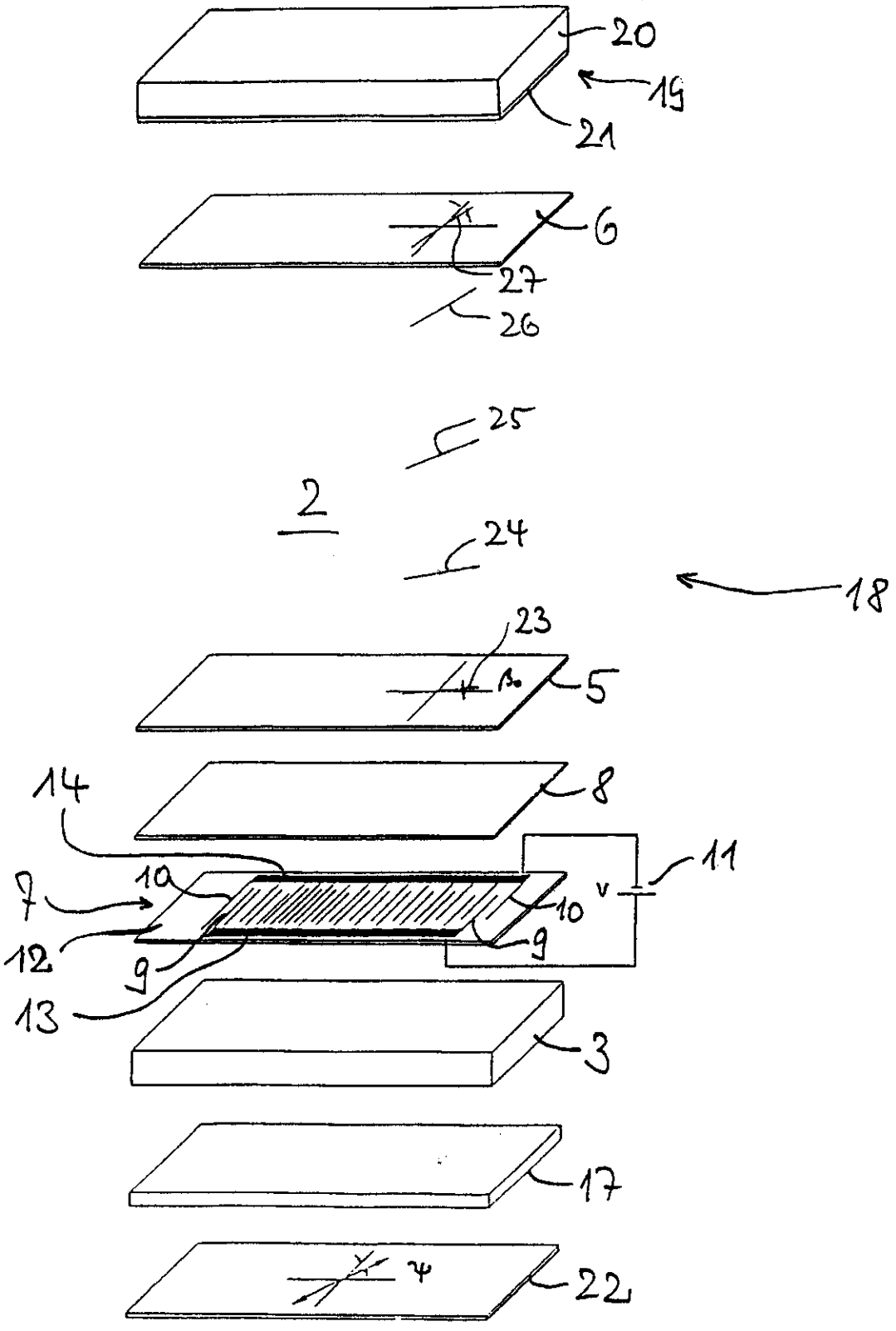


FIG. 3



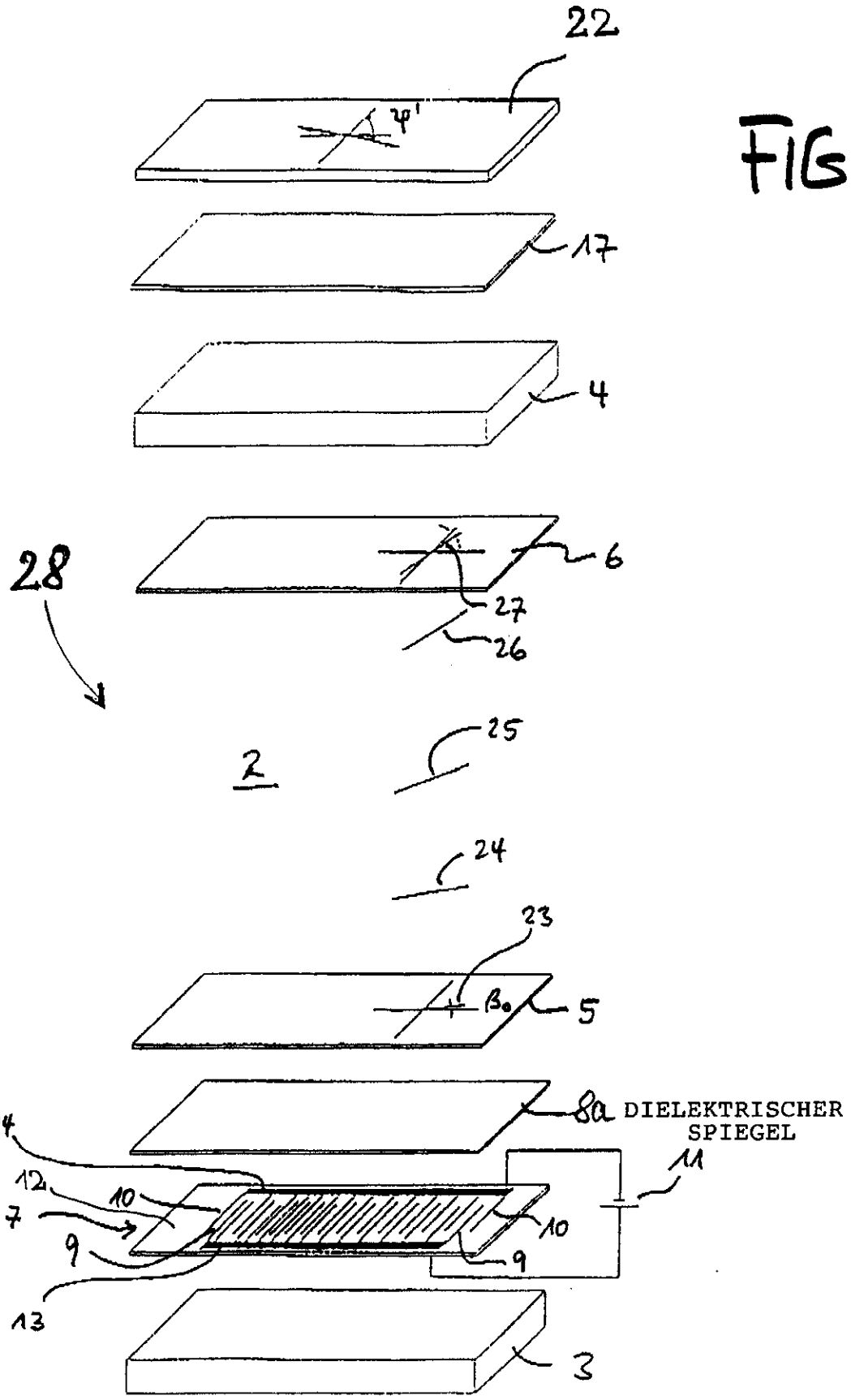

22
φ'
17
4
6
28
27
26
2
25
24
23
B_0
5
8a
DIELEKTRISCHER SPIEGEL
14
12
10
11
7
9
10
9
13
3

FIG. 4

FIG. 5

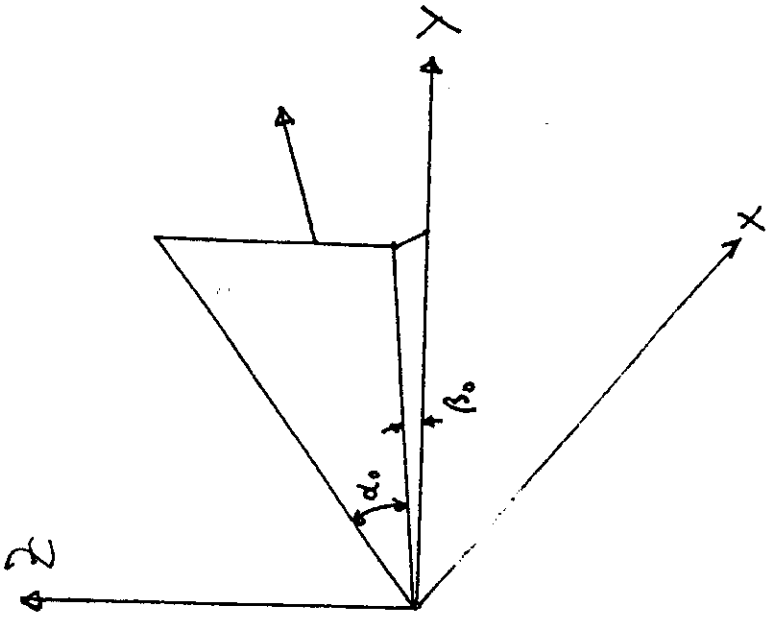


FIG. 6

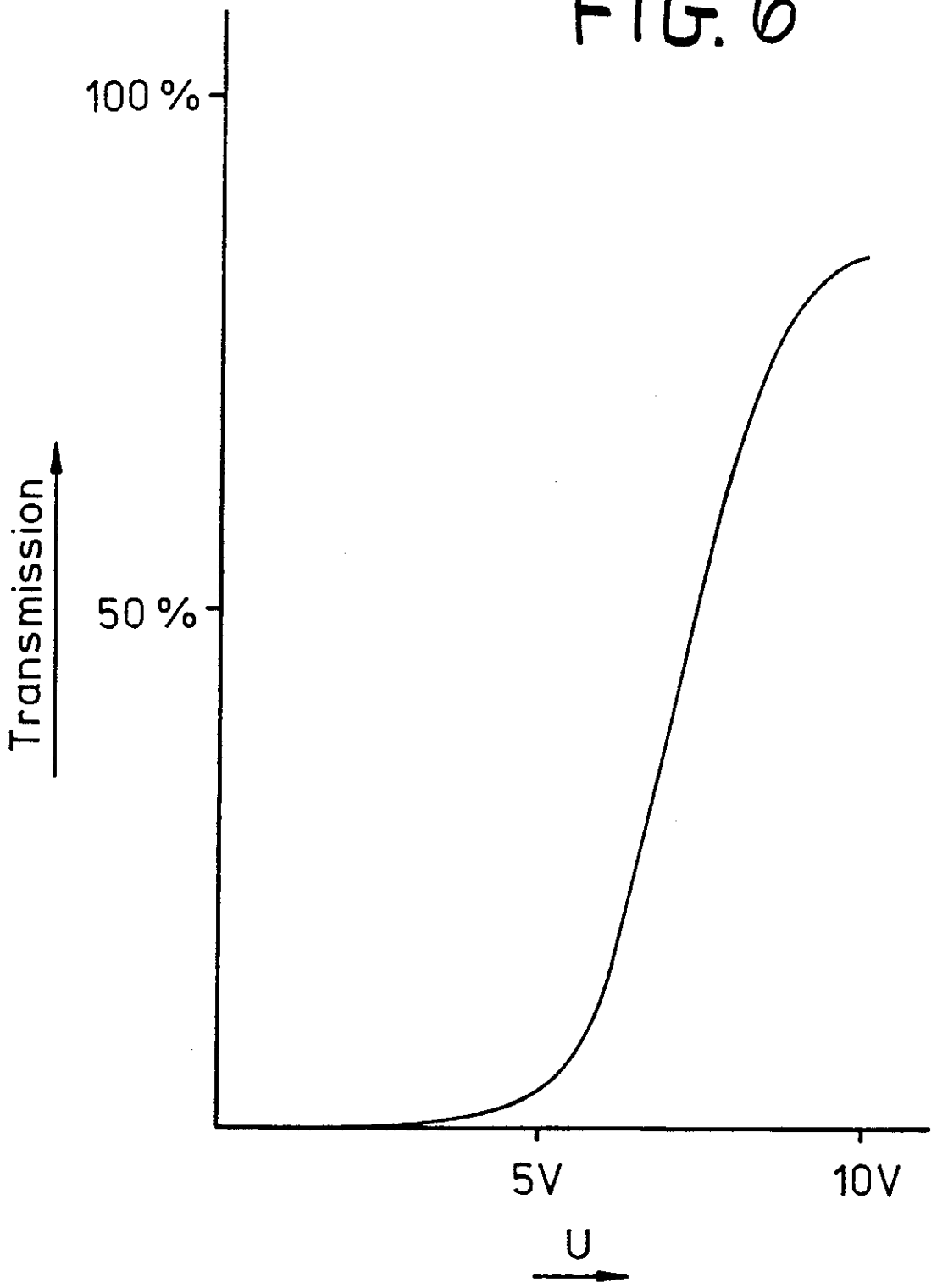
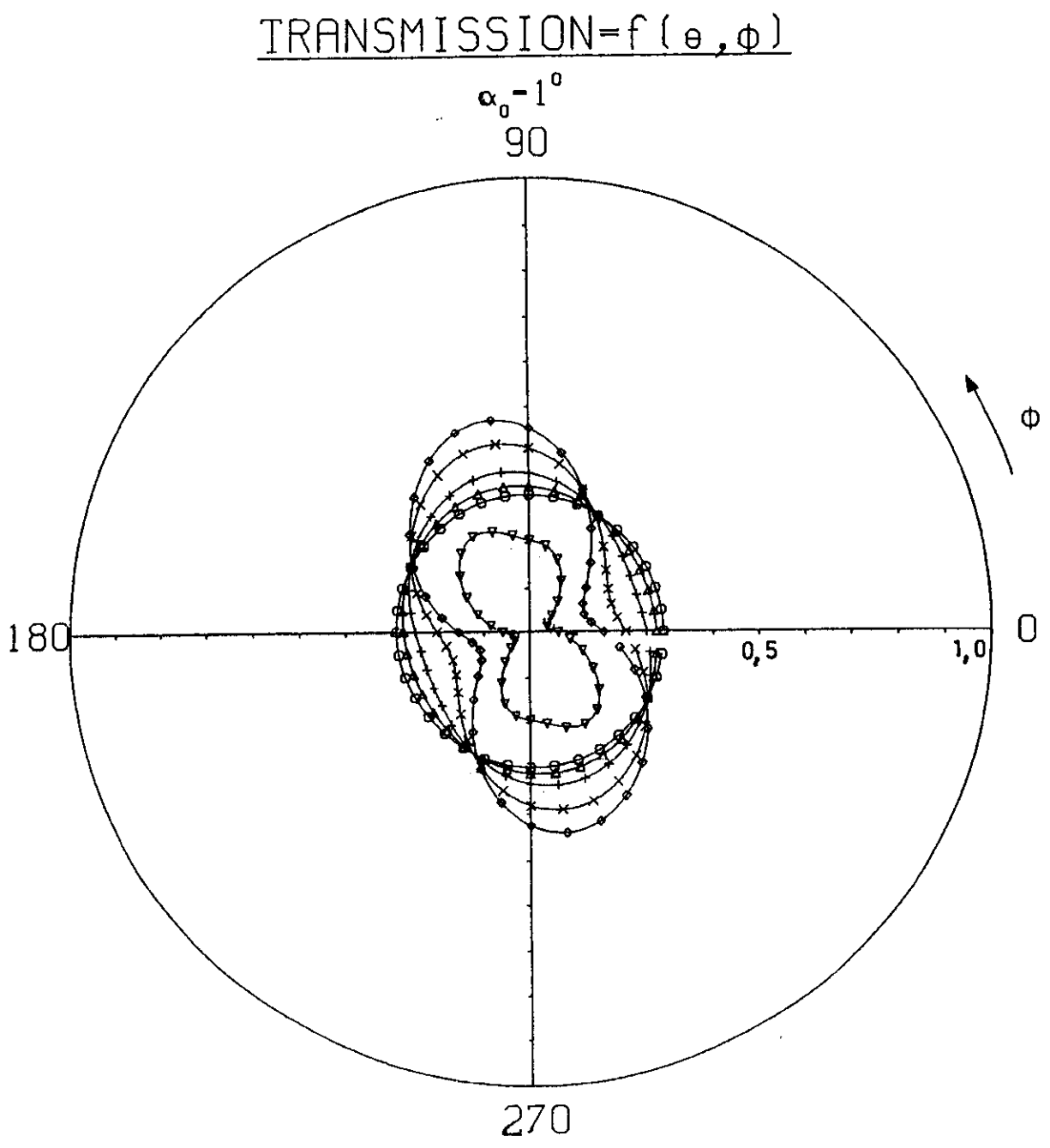
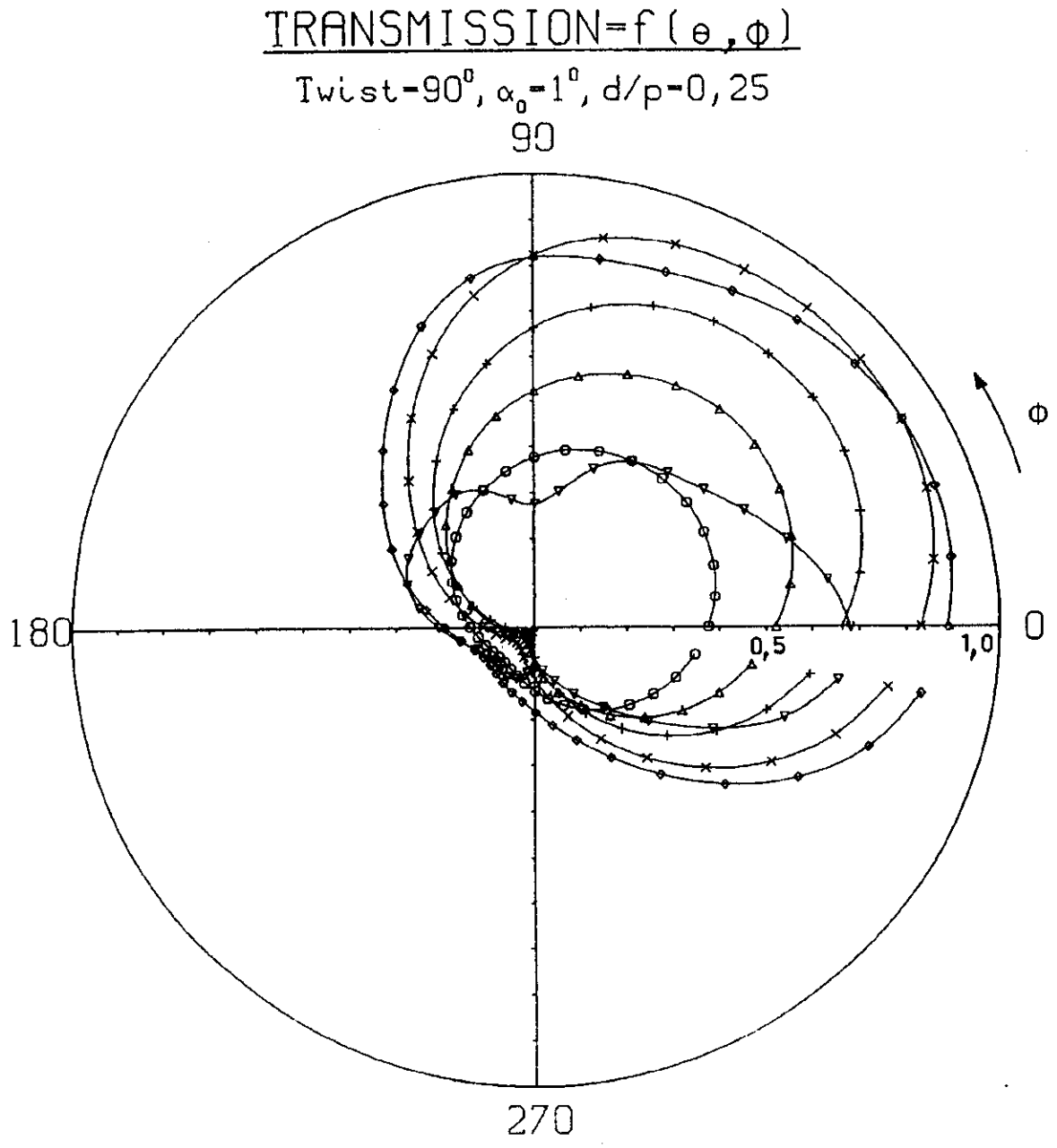


FIG. 7



n_e=1,5595, d=8,0µ, λ=550nm
Pol/An= 0°/90°, n_o=1,50

FIG. 8



n_e-1,5595, d-8,0µ, λ-550nm
Pol/An- 0°/0°, n_o = 1,50

For official use

25MAY'94#002E8212 PAT 54 77 UC 35.00

RECEIVED IN
26 MAY 1994
TRANSLATIONS

Your reference PJC/EJH/E07777GB

Notes

Please type, or write in dark ink using CAPITAL letters.

A prescribed fee is payable with this form. For details, please contact the Patent Office (telephone 071 438 4700).

Paragraph 1 of Schedule 4 to the Patents Rules 1990 governs the completion and filing of this form.

This form must be filed in duplicate and must be accompanied by a translation into English, in duplicate, of:

the whole description

those claims appropriate to the UK (in the language of the proceedings)

including all drawings, whether or not these contain any textual matter but excluding the front page which contains bibliographic information. The translation must be verified to the satisfaction of the Comptroller as corresponding to the original text.

The Patent Office

Filing of translation of European Patent (UK) under Section 77(6)(a)

Form 54/77 **Patents Act 1977**

1 European Patent number

1 Please give the European Patent number:

0509025

2 Proprietor's details

2 Please give the full name(s) and address(es) of the proprietor(s) of the European Patent (UK):

Name Fraunhofer-Gesellschaft Zur Förderung der Angewandten Forschung E.V.

Address LEONRODSTRASSE 54
D-80636 MUNCHEN
GERMANY

Postcode

ADP number (if known):

3 European Patent Bulletin date

3 Please give the date on which the mention of the grant of the European Patent (UK) was published in the European Patent Bulletin or, if it has not yet been published, the date on which it will be published:

Date

08/06/1994

(day month year)

Please turn over

028 NDC

4 Agent's details

4 Please give name of agent (if any):

ELKINGTON AND FIFE

5 *An address for service in the United Kingdom must be supplied.*

5 Address for service

Please give a name and address in the United Kingdom to which all correspondence will be sent:

Name

ELKINGTON AND FIFE

Address

PROSPECT HOUSE
8 PEMBROKE ROAD
SEVENOAKS
KENT

Postcode TN13 1XR

ADP number (if known) 67004

Signature

Please sign here ➡

Signed

Date 20/05/1994

(day month year)

Reminder

Have you attached:

- ❑ one duplicate copy of this form?
- ❑ two copies of the translation including any drawing (verified to the satisfaction of the Comptroller)?
- ❑ any continuation sheets (if appropriate)?

THE PATENTS ACT 1977, AS AMENDED,

AND

THE RULES MADE THEREUNDER

I, Noel George Anderson, BSc, PhD, FRSC, CChem, MITI, FIL, BDÜ, translator to Messrs. Taylor & Meyer, of 29 Kingsmead Road, London SW2 3HY, declare that I am conversant with the German and English languages and that to the best of my knowledge and belief the accompanying text is a true translation of the text on which the European Patent Office has granted or intends to grant European Patent Number 0 509 025 in the name of FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.

Signed this 29th day of January 1994

.....

The invention relates to an electrooptical liquid-crystal switch element, comprising a liquid-crystal layer with at least one substrate, and a polarizer and an analyser, and to an electrode structure, disposed on the substrate, for generating an electric field having a field component which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer,

(a) the liquid-crystal layer having a twistable structure and the direction of polarization of light which passes through the liquid-crystal layer depending on the degree of twisting of the liquid-crystal layer;

(b) the liquid-crystal layer being anchored in an initial orientation in which its axis of twisting remains perpendicular, or essentially perpendicular, to the liquid-crystal layer; and

(c) that field component of the electrode structure which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer being capable of alteration in such a way that the degree of twisting of the liquid-crystal layer is consequently altered.

An electrooptical liquid-crystal switch element which comprises a liquid-crystal layer with at least one substrate, and a polarizer and an analyser, and an electrode structure, disposed on the substrate, for generating an electric field having a field component which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer is disclosed in US-A-3 854 751. In this liquid-crystal switch element, the field-generating electrode structure generates two electric fields, of which one has a field component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer, while the other has a field component aligned predominantly perpendicular to the liquid-crystal

layer, the liquid-crystal layer being switched by one electric field to the state of minimum light transmission and by the other electric field to the state of maximum light transmission, while the optical axis of the liquid crystal is aligned perpendicular to the liquid-crystal layer by one electric field and parallel to the liquid-crystal layer by the other electric field. In the cases where use is made of compensated cholesteric liquid crystals which, in the absence of electric fields orient themselves spontaneously so that their optical axis is perpendicular to the liquid-crystal layer, one electric field may optionally be dispensed with, although, according to US-A-3 854 751, it is preferable, even in these cases, to use both fields because the self-alignment time of the liquid crystals which orient themselves is relatively long and therefore very unfavourable.

DE 24 59 533 A1 and DE 23 58 581 B2 also disclose electrooptical liquid-crystal switch elements which have a reorientation device comprising a field-generating structure whose electric field has a field component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer. In the liquid-crystal switch element according to DE 23 28 581 B2, however, as in that according to US-A 2 854 751, two mutually perpendicular electric fields are generated in order to align the optical axis of the liquid crystal in two orientations extending mutually perpendicularly, of which one extends parallel to the liquid-crystal layer and the other perpendicular to it. This type of reorientation of the optical axis of the liquid crystal also takes place in the liquid-crystal switch element according to DE 24 59 533 A1, in which case, however, the optical axis of the liquid crystal is automatically aligned perpendicular to the liquid-crystal layer by means of homeotropic edge orientation of the liquid crystal.

Finally, WO 84/04601 also discloses, in connection with a liquid crystal, a comb-like field-generating structure whose field has a component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer. The device according to this publication is, however, a light guide in which the coupling-out of light is controlled by changing the effective refractive index of the core, which is composed of the liquid crystal, or of the cladding, which is formed by the liquid crystal, by means of the field-generating structure.

From JP 1-33521 (A) in Pat. Abstr. Jap. P-875, 23.05.89 vol. 13, No. 219 it is known, incidentally, to dispose electrodes in parallel planes, but for the purpose of generating a storing scattering state in an optical liquid-crystal modulator.

Furthermore, JP 1-179912 (A) in Pat. Abstr. Jap. P 946, 18.10.89, vol. 13 No. 460 and JP 1-161217 (A) in Pat. Abstr. Jap. P-936, 25.9.89, vol. 13 No. 428 disclose liquid-crystal display-element components which serve to improve the blocking state of a display, twisted liquid-crystals with a particular orientation being used. In addition, JP 1-44422 (A) in Pat. Abstr. Jap. P-880, 7.6.89, vol. 13 No. 242 describes a liquid-crystal display element in which the nematic liquid crystal has an orientation with an pitch angle of 20° to 30°. This is, however, a conventional liquid-crystal structure in which the optical axis of the liquid crystal is switched between a direction parallel to the liquid-crystal layer and one perpendicular to it by the application of an electric field.

Finally, GB 1 506 570 and JP 54-17756 (A) in Pat. Abstr. Jap. E-101, 30.3.79, vol. 3 No. 38 disclose liquid-crystal display devices with optical compensator or reflector and with dichroic dyestuffs.

Further known electrooptical liquid-crystal switch elements are described, for example, by M. Schadt and F. Leenhouts in "Appl. Phys. Lett.", vol. 50, pages 236 ff. (1987) and by T. J. Scheffer and J. Nehring in "J. Appl. Phys.", vol. 58, pages 3022 ff. (1985), furthermore by L. Phl, G. Weber, R. Eidenschink, G. Baur and W. Fehrenbach in "Appl. Phys. Lett.", vol. 38, pages 497 ff. (1981) and by M. Schadt and W. Helfrich in "Appl. Phys. Lett.", vol. 18, pages 127 ff. (1971).

Furthermore, from the paper by K. Fahrenschon et al.: "Deformation of a Pretilted Nematic Liquid Crystal Layer in an Electric Field" in Appl. Phys. 11 (1976), pages 67 to 74, it is known to predeform liquid crystals in electrooptical liquid-crystal switch elements in their deformation direction so that a uniform deformation direction consequently results when the deforming electric field is applied.

Electrooptical liquid-crystal switch elements are used, in particular, in liquid-crystal display devices such as, for example, in viewing screens of television sets, computers, central control rooms and of other devices, installations or the like for switching the pixels of these liquid-crystal display devices, i.e. for altering the brightness and/or colour of a pixel.

In the liquid-crystal display devices or displays constructed with electrooptical liquid-crystal switch elements of the above known types, the observation-angle or viewing-angle range, i.e. the angular range from which a display generated by means of the liquid-crystal display device can be viewed without substantial optical distortion, is considerably limited because the contrast of the display depends fairly strongly on the viewing angle.

This angular dependence of the contrast of the known liquid-crystal display devices is, as shown by the investigation results appended hereto, a consequence of the earlier reorientation of the optical axis of the liquid-crystal layer between an alignment parallel to the liquid-crystal layer and an alignment perpendicular to the liquid-crystal layer. The investigations, which have been carried out as part of the present invention, established that it is the deformation of the liquid crystal effected by such a reorientation which results in a strongly pronounced angular dependence of the transmission of the liquid crystal switch element and, consequently, of the contrast.

An electrooptical liquid-crystal display switch element of the type mentioned at the outset having the features (a), (b) and (c) which are specified there and which eliminate the angular dependence of the transmission and consequently of the contrast is disclosed in the publications by R. A. Soref, namely in the paper entitled "Field effects in nematic liquid crystals obtained with interdigital electrodes" in the Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 12, December 1974, American Institute of Physics, and from the paper entitled "Interdigital twisted-nematic displays" in Proceedings of the IEEE, December 1974, pages 1710-1711. A problem with these known electrooptical liquid-crystal switch elements is that, on applying an electric field which deforms the liquid crystal, i.e. which twists or detwists it, regions of different deformation of the liquid crystal are produced depending on whether the particular region is an interdigital region, i.e. whether it is situated between the comb electrodes of the field-generating electrode structure, or an intradigital region, i.e. extends inside the region of the comb electrodes. These regions of different deformation of the liquid crystal, which are due to the fact that that deformability of the liquid crystal which is achievable on applying the

electric field in the immediate vicinity of the anchoring layer, situated near the comb electrodes, for the liquid crystal is poor, result in an undesirable and optically interfering structural formation in the liquid-crystal layer and also in the fact that, depending on the polarizer-analyser arrangement (mutually parallel or perpendicular), either adequate locking or satisfactory transmission of the electrooptical liquid-crystal switch element is not achievable on applying an electric field, even if a comparatively high electric field is applied. This means that such electrooptical liquid-crystal switch elements have either an unsatisfactory contrast or a reduced brightness.

The object of the invention is to provide an electrooptical liquid-crystal switch element which simultaneously both has essentially a viewing-angle independent of the transmission and of the contrast and a favourable deformability of the liquid-crystal layer by the applied electric field in the immediate vicinity of its anchoring layer.

This object is achieved by an electrooptical liquid-crystal switch element of the type mentioned at the outset which is distinguished by the fact that the initial orientation of the liquid-crystal layer, at least on its layer side adjacent to the electrode structure, encloses an pitch angle which is greater than 0° and less than 30° with a plane parallel to the liquid-crystal layer, with the result that a deformability of the liquid-crystal layer is produced in the immediate vicinity of the anchoring of the liquid-crystal layer on applying the electric field.

In this way, an electrooptical liquid-crystal switch element is obtained which has not only an essentially angle-independent transmission and an essentially angle-independent contrast but, in addition, also has a

favourable deformability of the liquid crystal in the vicinity of the anchoring layer for the liquid crystal on applying the electric field.

The statement that the angle of twisting remains "essentially" perpendicular to the liquid-crystal layer and that the optical axis is rotated "essentially" parallel to the liquid-crystal layer is hereinafter intended to imply that there is provided a certain pitch angle α_0 of more than 0° and 30° which the initial orientation of the liquid-crystal layer encloses, at least on its layer side, adjacent to the field-generating electrode structure, of the liquid-crystal layer, with a plane parallel to the liquid-crystal layer, the initial orientation of the liquid-crystal layer being understood here as meaning the preferred direction of the molecular axes of the liquid crystal in the initial orientation of the liquid-crystal layer.

Preferably, the liquid-crystal switch element according to the invention is designed so that that field component of the field-generating electrode structure which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer can be altered in such a way that the degree of twisting of the liquid-crystal layer is altered continuously or stepwise for the purpose of continuously or stepwise setting different degrees of light transmission in the range between essentially maximum and minimum light transmission.

As shown by the investigation results, attached hereto, on the angular dependence of the transmission in liquid-crystal switch elements according to the invention, the transmission is virtually not angle-dependent in the liquid-crystal switch elements according to the invention.

The electric field having the field component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer can be obtained in that the field-generating electrode structure comprises strip or line electrodes which extend parallel to one another and parallel to the liquid-crystal layer and are alternately acted on by a different electrical potential.

Preferred embodiments of such a field-generating electrode structure are designed so that

(a) the strip or line electrodes are disposed alternately in at least two planes parallel to the liquid-crystal layer, and the two planes may be formed, in particular, by the two opposite surfaces of an insulating film, thin plate, layer or the like; or

(b) the strip or line electrodes acted on by a different potential are disposed in the same plane so as to intermesh in comb fashion, and said plane may be formed, in particular, by that surface of the substrate bounding the liquid-crystal layer which is adjacent to the liquid-crystal layer or an insulating film, thin plate, layer or the like applied to such a substrate.

A further development of the electrooptical liquid-crystal switch element according to the invention is distinguished by the fact that the field component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer forms an alignment angle which is greater than 0° and less than 90° with the preferred direction which the liquid-crystal layer has on its layer side, adjacent to the field-generating electrode structure, in its initial orientation. In this way, on the one hand, a domain formation as a result of different direction of rotation of adjacent liquid-crystal switch

elements or element regions is prevented and, on the other hand, short switching times are achieved since, as a result of the acute angle between the field component extending predominantly parallel to the liquid-crystal layer and the initial orientation of the liquid-crystal layer on its layer side adjacent to the field-generating electrode structure, a clearly directed initial torque of sufficient magnitude is produced on switching on the electric field, which torque predetermines the direction of rotation and, consequently, the liquid-crystal switch element is switched in the shortest possible time.

Preferably, said liquid-crystal switch element is designed so that

(a) the alignment angle is greater than 70° and less than 90° for positive dielectric anisotropy of the liquid crystal, or so that

(b) the liquid crystal has a negative dielectric anisotropy, in which case the alignment angle is less than 20° and greater than 0°.

If liquid-crystal materials having positive dielectric anisotropy $\Delta\epsilon$ are used, a torque is specifically induced which rotates the preferred direction (director) of the liquid crystal in the direction of the electric field, whereas if liquid-crystal materials having negative dielectric anisotropy are used, a torque is induced which rotates the preferred direction (director) in a plane perpendicular to the direction of the electric field. In this connection, taking into consideration electro-optical characteristic curves and switching times, the alignment angle should, as specified above, not be less than $|70°|$ for positive $\Delta\epsilon$ and not be greater than $|20°|$ for negative $\Delta\epsilon$.

Particularly preferably, a liquid-crystal material, in particular a non-ferroelectric liquid-crystal material, having negative dielectric anisotropy $\Delta\epsilon$ is provided in the liquid-crystal switch element according to the invention since this makes it possible to prevent a further type of domain formation if the electric field has, in addition to the component aligned parallel to the liquid-crystal layer, also a component oriented perpendicular thereto, which is generally the case in practice. Such a case occurs, for example, if the electric field is generated, as is preferably done, by strip or line electrodes since, in that case, a component which is likewise active at high fields is present perpendicular to the liquid-crystal layer simultaneously with the component which extends parallel, or virtually parallel, to the liquid-crystal layer. In liquid-crystal materials having positive $\Delta\epsilon$, this results in a reorientation of the liquid crystal at high fields, during which reorientation the preferred direction is rotated out of the plane of the liquid-crystal layer. This is associated with a domain formation and is undesirable in many cases, with the result that only the lower region of the electrooptical characteristic line is usable. In the case of materials having negative $\Delta\epsilon$, this field component induces a torque which rotates the preferred direction of the liquid crystal in the plane of the liquid-crystal layer. The reorientation described above is consequently prevented and a substantially larger portion of the electrooptical characteristic line is usable.

In relation to the initial orientation of the liquid crystal, it is preferable that

(a) the liquid crystal has an untwisted structure in its initial orientation and can be reoriented in a twisted structure by the field component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer, in which twisted

structure the angle of twisting is perpendicular to the liquid-crystal layer, or that

(b) the liquid crystal has a twisted structure in its initial orientation whose angle of twisting is perpendicular to the liquid-crystal layer and which can be detwisted by the field component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer.

The remaining basic structure of the liquid-crystal switch element is preferably designed in such a way that

(1) to operate the electrooptical liquid-crystal switch element in the transmitted-light mode, a polarizer is provided on one side of the liquid-crystal layer and an analyser on the other side; or so that

(2) to operate the electrooptical liquid-crystal switch element in the reflection mode, a polarizer/analyser is provided on one side of the liquid-crystal layer and a reflector on the other side.

At the same time, a birefringent optical compensator may be provided between the liquid-crystal layer and the polarizer. The optical compensator can be provided at the point where, as in the first case, a separate analyser is provided, but instead of this, also between the liquid-crystal layer and the analyser.

In particular, the liquid-crystal layer may contain a dichroic dyestuff and be provided with a polarizer on at least one side of the latter.

Preferably, the liquid-crystal switch element is furthermore designed in such a way that its light transmission has its maximum or minimum value in the

initial orientation of the liquid-crystal layer and can be altered to its other extreme value in the reoriented state of the liquid-crystal layer.

Particularly preferably, the liquid-crystal switch element according to the invention is used to alter the brightness and/or colour of a pixel of an electrooptical display device, the latter preferably being a viewing screen. The liquid-crystal switch elements of the electrooptical display device may be driven, in particular, by a transistor matrix or by a direct drive device in time-division multiplexing.

The above and further advantages of the invention will be explained in greater detail below on the basis of preferred embodiments of electrooptical liquid-crystal switch elements according to the invention with reference to Figures 1 to 7 of the drawing insofar as they show the structure of the preferred embodiments of electrooptical liquid-crystal switch elements according to the invention which are intentionally not drawn to scale for reasons of representation; in the drawing:

Figure 1 shows a partial section through an embodiment of an electrooptical liquid-crystal switch element according to the invention which preferably forms a pixel of an electrooptical display device while controlling the brightness and/or colour of said pixel so that the viewing screen of an electrooptical display device therefore comprises a multiplicity of such liquid-crystal switch elements which are incorporated in a planar matrix array;

Figure 2 shows a perspective view of an embodiment of an electrooptical liquid-crystal switch element

according to the invention for the transmitted-light mode, the individual parts, apart from the liquid-crystal layer indicated by orientation arrows, being shown in the exploded state;

Figure 3 shows a perspective representation of an embodiment of an electrooptical liquid-crystal switch element according to the invention for the reflection mode, the individual parts, apart from the liquid-crystal layer indicated by the orientation arrows, likewise being shown in the exploded state;

Figure 4 shows a perspective representation of a further embodiment according to the invention;

Figure 5 shows a diagrammatic representation of a pitch angle α_0 which the initial orientation of the liquid-crystal layer preferably encloses with a plane parallel to the liquid-crystal layer, and the alignment angle β_0 which the field component, aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer, of the electric field which reorients the liquid crystal preferably forms with the initial orientation which the liquid-crystal layer has on its layer side adjacent to the field-generating structure;

Figure 6 shows an experimentally determined curve showing the transmission of the vertically incident light as a function of the applied voltage for a typical exemplary embodiment of an electrooptical liquid-crystal switch element according to the invention;

Figure 7 shows values determined by calculation for the transmission in the case of a typical exemplary embodiment of an electrooptical liquid-crystal switch element according to the invention, which values show that said liquid-crystal switch element has virtually no angular dependence of the transmission and of the contrast;

Figure 8 shows transmission values determined by calculation in the case of a known electrooptical liquid-crystal switch element, a so-called TN cell, which illustrate the angular dependence of the transmission in polar coordinates, the representation scale being exactly the same as in Figure 6, with the result that the high angular dependence of the transmission present in the case of the known TN cells becomes clear from a comparison between the two Figures 6 and 7 and that, on the other hand, virtually no angular dependence of the transmission is present in the case of the electrooptical liquid-crystal switch element according to the invention over a large range.

In the detailed description of the preferred embodiments of the invention which now follows, reference may first be made to Figures 1 and 2, of which Figure 1 shows a cross-section through an embodiment of an electrooptical liquid-crystal switch element for the transmitted-light mode in the assembled state, while Figure 2 illustrates this same liquid-crystal switch element in the exploded state of the individual parts of the same and on a scale which is reduced compared with Figure 1, the lower orientation layer and the lower insulation layer also being shown in Figure 2, in contrast to Figure 1, as flat layers for reasons of representation.

The electrooptical liquid-crystal switch element 1 for the transmitted-light mode as shown in Figures 1 and 2 comprises a liquid-crystal layer 2 which is enclosed between two substrates 3 and 4 which, according to the graphic representation, are denoted below as lower and upper substrate although, in practice, they may have any desired position. Preferably, said substrates 3 and 4 are glass substrates but they can also be composed of other suitable transparent, preferably insulating, materials, such as, for example, plastics. In addition, the substrates 3 and 4 are preferably of flat design and disposed parallel to one another, with the result that the liquid-crystal layer 2 is preferably an essentially flat or planar layer.

In order to hold the liquid-crystal layer 2 with a predetermined initial orientation in the liquid-crystal switch element 1, it does not immediately adjoin the two substrates 3 and 4 but, on the contrary, it adjoins in each case an orientation layer 5 and 6, which are denoted below as lower and upper orientation layer on the basis of the graphic representation. The upper orientation layer 6 is applied directly to the upper substrate 4, whereas, on the other hand, a field-generating structure 7 and, optionally, an insulating layer 8 is provided between the lower substrate 3 and the lower orientation layer 5, so that the field-generating structure 7, the insulating layer 8 and the lower orientation layer 5 are applied in the sequence specified above to the lower substrate 3.

The field-generating structure 7 comprises strip or line electrodes 9 and 10 which extend parallel to one another and parallel to the liquid-crystal layer 2. At the same time, the strip or line electrodes 9 alternate with the strip or line electrodes 10, as Figures 1 and 2 show, the strip or line electrodes 9 being connected to a different

electrical potential from the strip or line electrodes 10, with the result that an electric field is produced in each case between the strip or line electrodes 9 and 10 which electric field has a field component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer 2. For example, as Figure 2 shows, the strip or line electrodes 9 are connected to one terminal of a voltage source 11, while the strip or line electrodes 10 are connected to the other terminal of said voltage source 11. Although the voltage source 11 is shown for reasons of principle as a direct-current source and could, in principle, also be such a direct-current source, an alternating-current voltage source 11 is used in practice to avoid a degradation of the liquid-crystal layer and the difficulties associated therewith.

In the embodiment of the liquid-crystal switch element 1 shown here, the strip or line electrodes 9 and 10 are designed so as to intermesh in comb fashion in the same plane, namely on the surface of an insulating base layer 12, which may also be formed by the surface of the substrate 3, the strip or line electrodes 9 being electrically interconnected to form a first comb structure by a strip- or line-type transverse electrode 13 extending transversely, in particular perpendicularly, to the strip or line electrodes 9, and the strip or line electrodes 10 being interconnected electrically to form a second comb structure by a further strip- or line-type transverse electrode 14 extending transversely, in particular perpendicularly, to the strip or line electrodes 10, and, furthermore, the two comb structures being disposed so as to intermesh, as can be seen particularly well from Figures 2 and 3.

Another possibility, not shown in the figures, is to dispose the strip or line electrodes 9 on the top of the

insulating base layer 12, while the strip or line electrodes 10 are disposed on the bottom of the insulating layer 12. In this case, the strip or line electrodes may be designed as simple, parallel strips or lines without comb-like structures being required.

In addition, the liquid-crystal switch element shown in Figures 1 and 2 also comprises a polarizer 15 on the outside of the substrate 3 and an analyser 16 on the outside of the substrate 4. Depending on the direction of light passage, polarizer and analyser may also be interchanged. Finally, an optical compensator 17 is also provided between the polarizer 15 and the substrate 3. Said optical compensator 17 may also be disposed instead between the analyser 16 and the substrate 4.

Figure 3 shows a perspective view of an embodiment of an electrooptical liquid-crystal switch element 18 for the reflection mode in an exploded representation of the individual parts of said liquid-crystal switch element 18, which differs in its external structure from the liquid-crystal switch element 1 shown in Figures 1 and 2 only in that, instead of the analyser 16 shown in Figures 1 and 2, a reflector 19 is provided which, in the embodiment shown, comprises a substrate 20, for example a glass substrate, and a reflecting layer 21, which is provided on that side of the substrate 20 which is adjacent to the liquid-crystal layer 2. According to this structure, the polarizer, which still remains, is at the same time also the analyser and is accordingly denoted as polarizer/analyser 22 for the purpose of differentiation from Figures 1 and 2.

A further embodiment of an electrooptical switch element 28 for the reflection mode, which is shown in Figure 4, differs from the electrooptical switch element 1 shown in Figures 1 and 2, for example, in that, instead of the

insulating layer 8 in Figures 1 and 2, a dielectric mirror 8a is provided and the birefringent compensator 17 is optionally provided between the substrate 4 and analyser 16. Provided as analyser 16 is an analyser/polarizer 22, which then acts as polarizer and analyser, with the result that the polarizer 15 of Figures 1 and 2 is omitted. This embodiment has, in particular, the advantage that neither the electrode structure 7 nor the substrate 3 needs to be transparent if the dielectric mirror 8a is provided between the liquid crystal 2, on the one hand, and the arrangement comprising the electrode structure 7 and the substrate 3, on the other, as shown in Figure 4, the orientation layer 5 being situated between the liquid crystal 2 and the dielectric mirror 8a. The orientation layer 5 may also be a component of the dielectric mirror 8a. The electrode structure 7 may also be provided on the dielectric mirror 8a, in particular on its side adjacent to the liquid crystal 2.

Incidentally, since the outer structure of the liquid-crystal switch element 18 and 28 is otherwise identical to that of the liquid-crystal switch element 1, the same reference symbols are used as in Figures 1 and 2 and, consequently, to avoid repetitions, reference is made to the corresponding explanations relating to Figures 1 and 2.

The internal structure of the liquid-crystal switch elements 1, 18 and 28 will now be dealt with in greater detail, that is to say the respective parameters of the liquid-crystal layer which are important for the operation of the liquid-crystal switch elements 1, 18 and 28, the orientation layers, the polarizers, the field-generating structures etc., which are specified in Table 1 below and are shown, as far as possible, in Figures 2 and 3:

Table 1

The following parameters are used to describe the preferred embodiments of the liquid crystal switch elements in relation to their physical design:

β	=	angle of twisting of the liquid crystal 2 in its initial orientation, that is to say the angle between the director at the substrate 3 or in the orientation layer 5 and the director at the substrate 4 or in the orientation layer 6.
β_0	=	alignment angle which electrical field component which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer 2 and is generated by the field-generating structure 7 to the preferred direction of the molecular axes of the liquid crystal 2 which the latter have in the initial orientation of the liquid crystal 2 on that layer side of the liquid-crystal layer 2 which is adjacent to the field-generating structure 7, that is to say at the orientation layer 5; this angle is equal to the angle between the director at the substrate 3 or in the orientation layer 5 and the perpendicular to the longitudinal direction of the strip or line electrodes 9, 10 in the plane of said strip or line electrodes.
α_0	=	pitch angle which the initial orientation of the liquid-crystal layer 2 encloses, at least on its layer side of the liquid-crystal layer 2 adjacent to the field-generating structure 7, with a plane parallel to the liquid-crystal layer 2, the initial orientation of the liquid-crystal layer being understood here as meaning the preferred direction of the molecular axes of the liquid crystal 2 in the initial orientation of the liquid-crystal layer.
ψ	=	angle between the director at the substrate 3 or in the orientation layer 5 and the transmission direction of the polarizer 15 or of the polarizer/analyser 22.

ψ'	=	angle between the director at the substrate 3 or in the orientation layer 5 and the transmission direction of the analyser 16.
$\lvert\psi-\psi'\rvert$	=	angle between the transmission direction of the polarizer and analyser.
d	=	thickness of the liquid-crystal layer 2
$\epsilon_{,,}$, $\epsilon_{\perp}$	=	permittivities parallel to, or perpendicular to, the director of the liquid crystal
$\Delta\epsilon$	=	dielectric anisotropy of the liquid crystal = difference between $\epsilon_{,,}$ and $\epsilon_{\perp}$, i.e. $\Delta\epsilon = \epsilon_{,,} - \epsilon_{\perp}$.
n_0, n_e	=	ordinary or extraordinary refractive index of the liquid crystal
λ	=	wavelength of light
Δn	=	$n_e - n_0$

In Figures 2 and 3, the arrows 23 to 27 indicate preferred directions of the liquid crystal 2, the preferred direction at the orientation layer 5 being indicated, in particular, by the arrow 23 and the preferred direction at the orientation layer 6 by the arrow 27, while the arrows 24, 25 and 26 represent preferred directions in the intermediate region which are shown to illustrate the twisting of the liquid crystal better. The pitch angle α_0 and the alignment angle β_0 are shown in Figure 5, the x-axis and y-axis defining a plane extending parallel to the liquid-crystal layer 2, while the z-axis extends perpendicular to the liquid-crystal layer 2, that is to say it corresponds to the thickness direction of the liquid-crystal layer, while the x-axis and y-axis correspond to the width and length direction of the liquid-crystal layer 2.

In Tables 2 and 3 below, preferred initial states are given for the transmitted-light mode and the reflection mode, the initial state being understood as meaning the state which

is present when no electric field is applied across the field-generating structure 7.

Table 2: Preferred initial states in homogeneous planar orientation for transmitted-light mode of operation

Initial state	ß	Δc	d x Δn/λ	α_0	$ß_0$	ψ	$\lvert\psi - \psi'\rvert$
D1	0° ± 15°	>0	>0, <4	>0°, <30°	>70°, <90°	0°, 90°	90°, 0° 90° preferred
D2	0° ± 15°	<0	>0, <4	>0°, <30°	>0°, <20°	0°, 90°	90°, 0° 90° preferred
D3	90° ± 15°	>0	>0, <4 Preferred: $1/2\sqrt{3}$, $1/2\sqrt{15}$, $1/2\sqrt{35}$	>0°, <30°	>70°, <90°	0°, 90°	0°, 90° 0° preferred
D4	90° ± 15°	<0	>0, <4 Preferred: $1/2\sqrt{3}$, $1/2\sqrt{15}$, $1/2\sqrt{35}$	>0°, <30°	>0°, <20°	0°, 90°	0°, 90° 0° preferred

Table 3: Preferred initial states in homogeneous planar orientation for reflection mode of operation

Initial state	ß	Δc	d x Δn/λ	α_0	$ß_0$	ψ	$\lvert\psi - \psi'\rvert$
R1	0° ± 15°	>0	>0, <2 Preferred 0.36	>0°, <30°	>70°, <90°	0°, 90°	90°. 0° 90° preferred
R2	0° ± 15°	<0	>0, <2 Preferred 0.36	>0°, <30°	>0°, <20°	0°, 90°	90°, 0° 90° preferred
R3	60° ± 5°	>0	>0, <2 Preferred: 0.36	>0°, <30°	>70°, <90°	0°, 90°	0°, 90°
R4	60° ± 5°	<0	>0, <2 Preferred: 0.36	>0°, <30°	>0°, ≤20°	0°, 90°	0°, 90°

It may be pointed out here that the figures for the values of d x $\Delta n/\lambda$ and of α_0 and of β_0 are range figures, that is to say the two values provided with the symbol $\geq$ or $\leq$ or > or < indicate the range limits in each case, and specifically, including or excluding this range limit depending on the sign.

If the electrooptical liquid-crystal switch element 1 or 18 or 28 is used to alter the brightness and/or colour of a pixel of an electrooptical display device, the respective liquid-crystal switch element 1 or 18 shown in Figures 1, 2 or 3 forms a single pixel, so that a large multiplicity of such liquid-crystal switch elements 1, 18 or 28 are integrated to form a viewing screen, the substrates, the orientation layers, the polarizers, the analysers or the polarizers/analysers, the reflectors and the optical compensators, which have been shown as individual parts in Figures 1 to 3 for reasons of representation, form in each case a preferably integral component which is common to all the pixels, while each individual pixel has its own field-generating structure 7. Provided it is not a comb structure of the type shown in Figures 1 to 3, said field-generating structure may also be made up of strip or line electrodes extending in total over the entire area of the electrooptical display device, provided they are driven intersect-by-intersect in a suitable manner, for example in time-division multiplexing.

Preferred sizes for the liquid-crystal switch elements will be given below, which sizes are applicable, in particular, for the case where the liquid-crystal switch elements are used as pixels in an electrooptical display device:

Thickness of the liquid-crystal layer:	1 μm to 10 μm
Areal size of the field-generating structure corresponding to a pixel	Square with an edge length of 10 μm to 1 mm
Spacing between adjacent strip or line electrodes	2 μm to 50 μm
Voltage between adjacent strip or line electrodes at maximum contrast:	1 volt to 80 volt

It may be pointed out that the provision of a polarization film, that is to say of the polarizer/analyser 22 in front of the reflective liquid-crystal switch element 18 or 28 corresponds to parallel polarizers 15, 16 (that is to say an analyser 16 parallel to the polarizer 15 in the transmission direction). The use of a reflective liquid-crystal element 18 or 28 in combination with a polarizing beam splitter (McNeille prism) corresponds to crossed polarizers 15, 16 in the transmissive liquid-crystal switch element 1. This arrangement is suitable, in particular, for high-intensity projectors.

The mode of operation, in particular the optical behaviour, of the liquid-crystal switch elements 1 and 18 and also 28 described was investigated by means of computer simulation and confirmed by experimental investigation of suitably designed liquid-crystal switch elements.

The results of these investigations are shown in Figures 6 and 7, and the result of a comparison investigation on a TN liquid-crystal switch element, that is to say a known liquid-crystal switch element with spiral nematic liquid crystal, is shown in Figure 8.

The liquid-crystal switch element on which the investigation result of Figure 6 is based and which had the structure shown in Figures 1 and 2 had the following design parameters.

Thickness of the liquid-crystal layer = 6.9 μm

Dielectric anisotropy = -1.5

Optical wavelength d x $\Delta n/\lambda$ = 0.865

Initial twisting angle β = 0°

Alignment angle β_0 = 5°

Pitch angle α_0 = 5°

Angle between polarizer and analyser = 90°

The following may be added by way of explanation in relation to Figures 7 and 8:

The angle THETA is the angle between the observing direction and the perpendicular to the liquid-crystal layer. The intensity of the transmitted light is indicated on the axes of the polar-coordinate representation. The transmission is approximately 25% for vertical incidence.

It may be pointed out that, in the electrooptical switch element 1 shown in Figure 1 and 2, the orientation layer 6 and the substrate 4 may optionally be omitted if, for example, liquid-crystalline polymers are used. The embodiments of the electrooptical switch element can be modified accordingly for the reflection mode. The term "liquid crystal" therefore also comprises, in the present description and in the claims, liquid-crystalline polymers or other liquid-crystalline substances.

The liquid crystals used in the invention are preferably, but by no means exclusively, nematic liquid crystals or nematic liquid-crystalline polymers.

PATENT CLAIMS

1. Electrooptical liquid-crystal switch element, comprising a liquid-crystal layer (2) with at least one substrate (3), and a polarizer and analyser (15, 16; 22), and an electrode structure (7) disposed on the substrate (3) for generating an electric field having a component which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer (2),

(a) the liquid-crystal layer (2) having a twistable structure and the direction of polarization of light which passes through the liquid-crystal layer (2) depending on the degree of twisting of the liquid-crystal layer (2);

(b) the liquid-crystal layer (2) being anchored in an initial orientation in which its axis of twisting remains perpendicular, or essentially perpendicular, to the liquid-crystal layer (2); and

(c) that field component of the electrode structure (7) which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer (2) being capable of alteration in such a way that the degree of twisting of the liquid-crystal layer (2) is consequently altered;

characterized in that the initial orientation of the liquid-crystal layer (2), at least on its layer side adjacent to the electrode structure (7), encloses a pitch angle (α_0) which is greater than 0° and less than 30° with a plane parallel to the liquid-crystal layer (2), with the result that a deformability of the liquid-crystal layer (2) is produced in the immediate vicinity of the anchoring of the liquid-crystal layer on applying the electric field.

2. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 1, characterized in that that field component of the electrode structure (7) which is aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer (2) can be altered in such a way that the degree of twisting of the liquid-crystal layer (2) is altered continuously or stepwise for the purpose of continuously or stepwise setting of different degrees of light transmission of the liquid-crystal switch element (1, 18, 28)) in the range between essentially maximum and minimum light transmission.

3. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 1 or 2, characterized in that the field component aligned predominantly parallel to the liquid-crystal layer (2) forms an alignment angle (β_0) which is greater than 0° and less than 90° with the preferred direction which the liquid-crystal layer (2) has on its layer side, adjacent to the electrode structure (7), in its initial orientation.

4. Electrooptical liquid-crystal element according to Claim 3, characterized in that the alignment angle (β_0) is greater than 70° and less than 90° for positive dielectric anisotropy ($\Delta\epsilon$) of the liquid crystal (2).

5. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 3, characterized in that the liquid crystal (2) has a negative dielectric anisotropy ($\Delta\epsilon$), the alignment angle (β_0) being less than 20° and greater than 0°.

6. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 5, characterized in that the electrode structure (7) comprises strip or line electrodes (9, 10) which extend parallel to one another and

parallel to the liquid-crystal layer (2) and are alternately acted on by a different electrical potential.

7. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 6, characterized in that the strip or line electrodes (9, 10) are disposed alternately in at least two planes parallel to the liquid-crystal layer (2).

8. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 6, characterized in that the strip or line electrodes (9, 10) acted on by different potential are disposed in the same plane so as to intermesh in comb fashion.

9. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 8, characterized in that, to operate the electrooptical liquid-crystal switch element (1) in the transmitted-light mode, the polarizer (15) is provided on one side of the liquid-crystal layer (2) and the analyzer (16) on the other side.

10. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 8, characterized in that, to operate the electrooptical liquid-crystal switch element (18, 28) in the reflection mode, a polarizer/analyser (22) is provided on one side of the liquid-crystal layer (2) and a reflector (8a, 19) on the other side.

11. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 10, characterized in that the reflector (8a, 19) is a dielectric mirror.

12. Electrooptical liquid-crystal switch element according to Claim 11, characterized in that the dielectric mirror (8a) is disposed between the liquid-crystal layer (2) and one substrate (3).

13. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 9 to 12, characterized in that a birefringent optical compensator (17) is provided between the liquid-crystal layer (2), on the one hand, and the polarizer (15) and/or analyser (16) or the polarizer/analyser (22), on the other.

14. Electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 13, characterized in that the liquid-crystal layer (2) contains a dichroic dyestuff and a polarizer (15) is provided on at least one side of the latter.

15. Use of the electrooptical liquid-crystal switch element according to one of Claims 1 to 14 to alter the brightness and/or colour of a pixel of an electrooptical display device.

16. Use according to Claim 15, characterized in that the electrooptical display device is a viewing screen.

17. Use according to Claim 15 or 16, characterized in that the electrooptical liquid-crystal switch elements (1, 18, 28) of the display device are driven by a transistor matrix.

18. Use according to Claim 15 or 16, characterized in that the electrooptical liquid-crystal switch elements (1, 18, 28) of the display device are driven by a direct drive device in time-division multiplexing.

FIG. 1

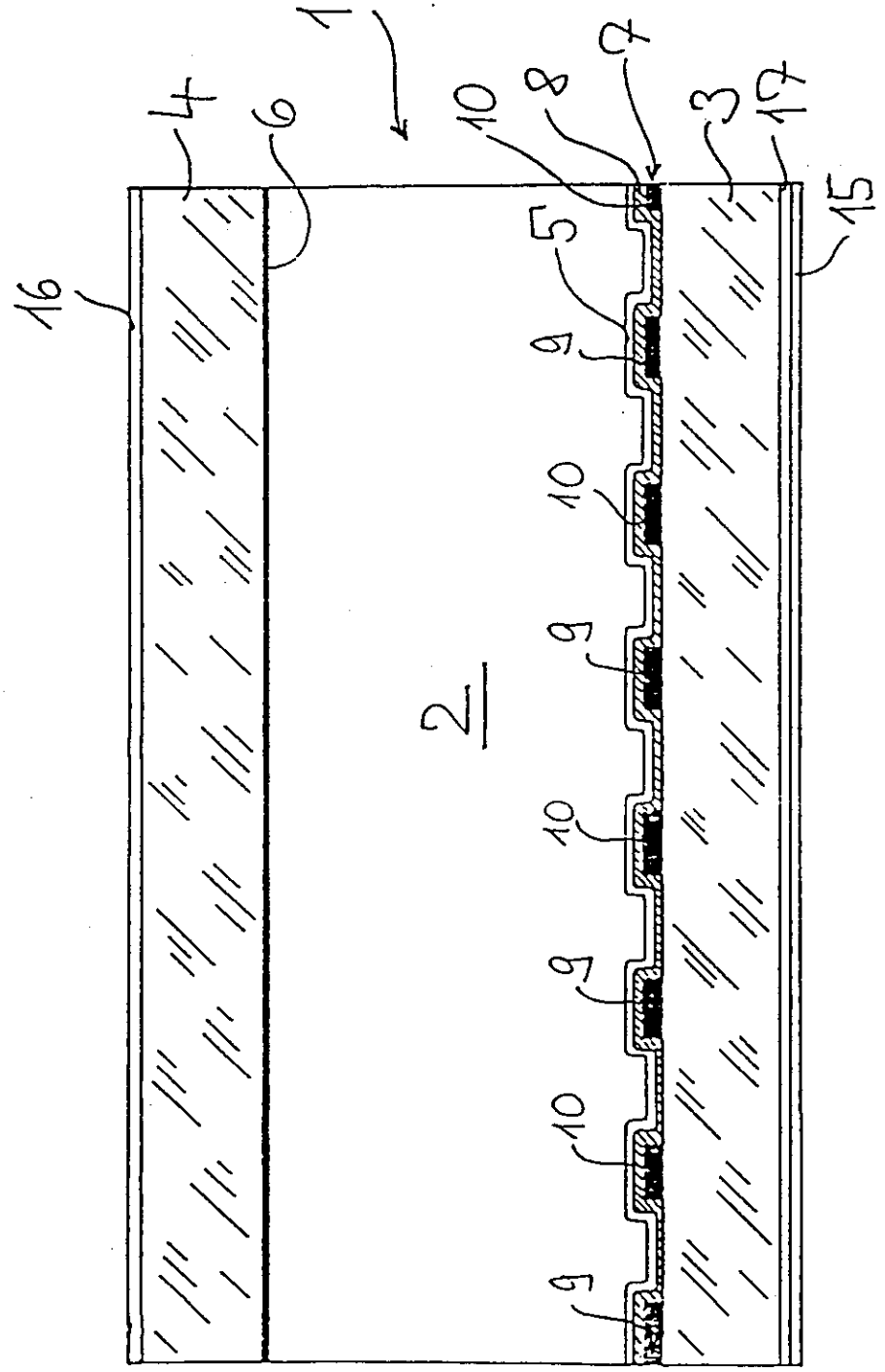


FIG. 2

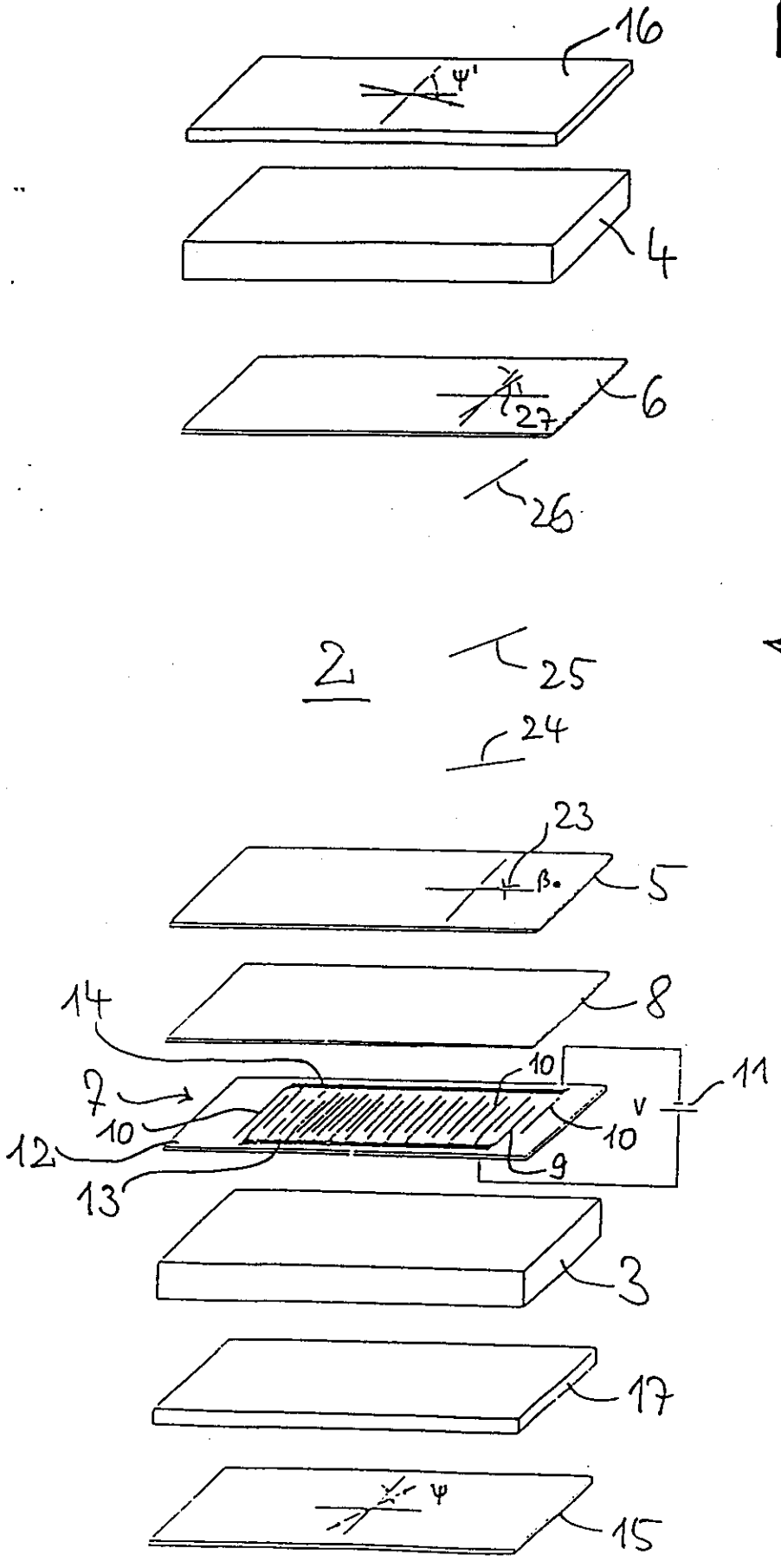
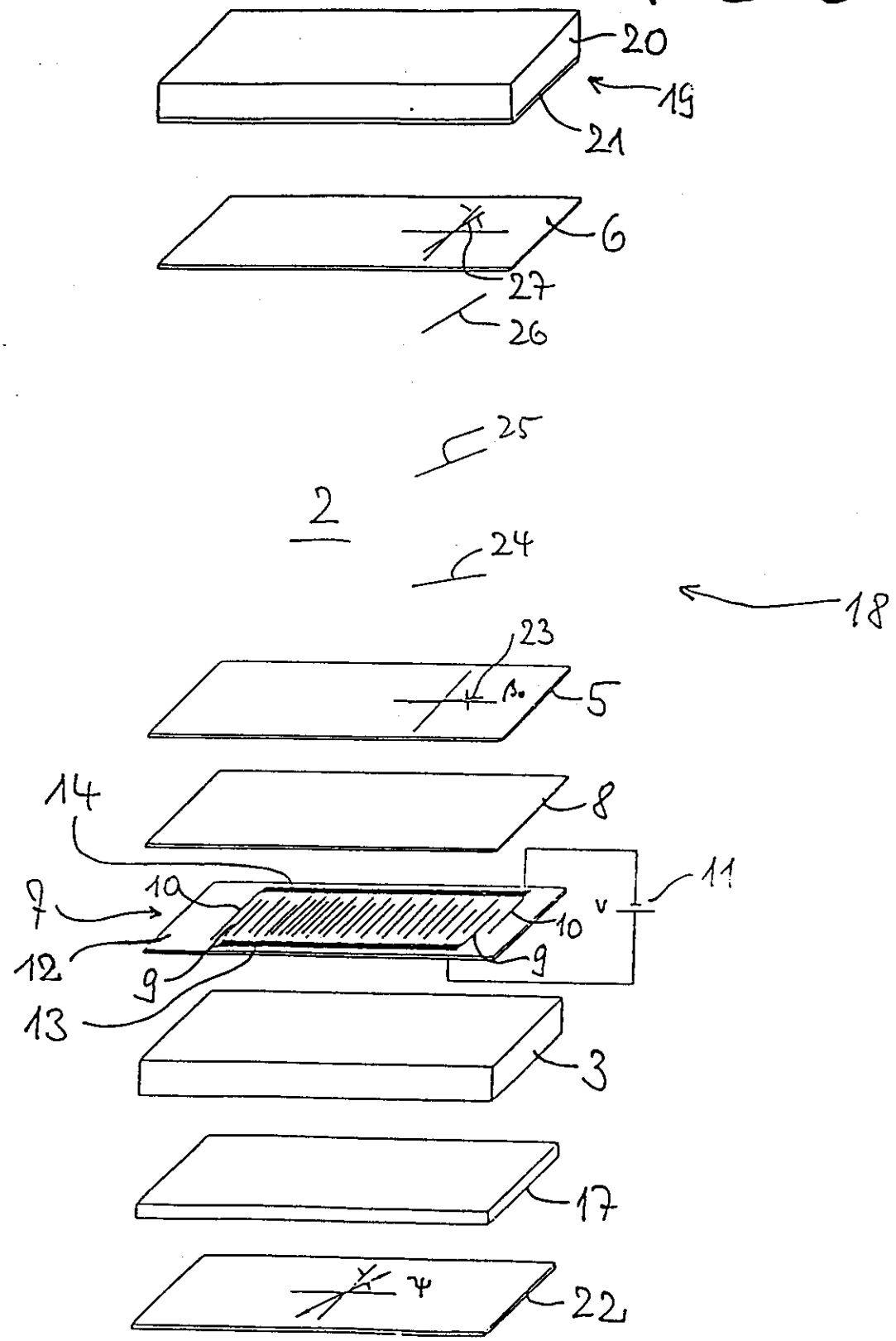
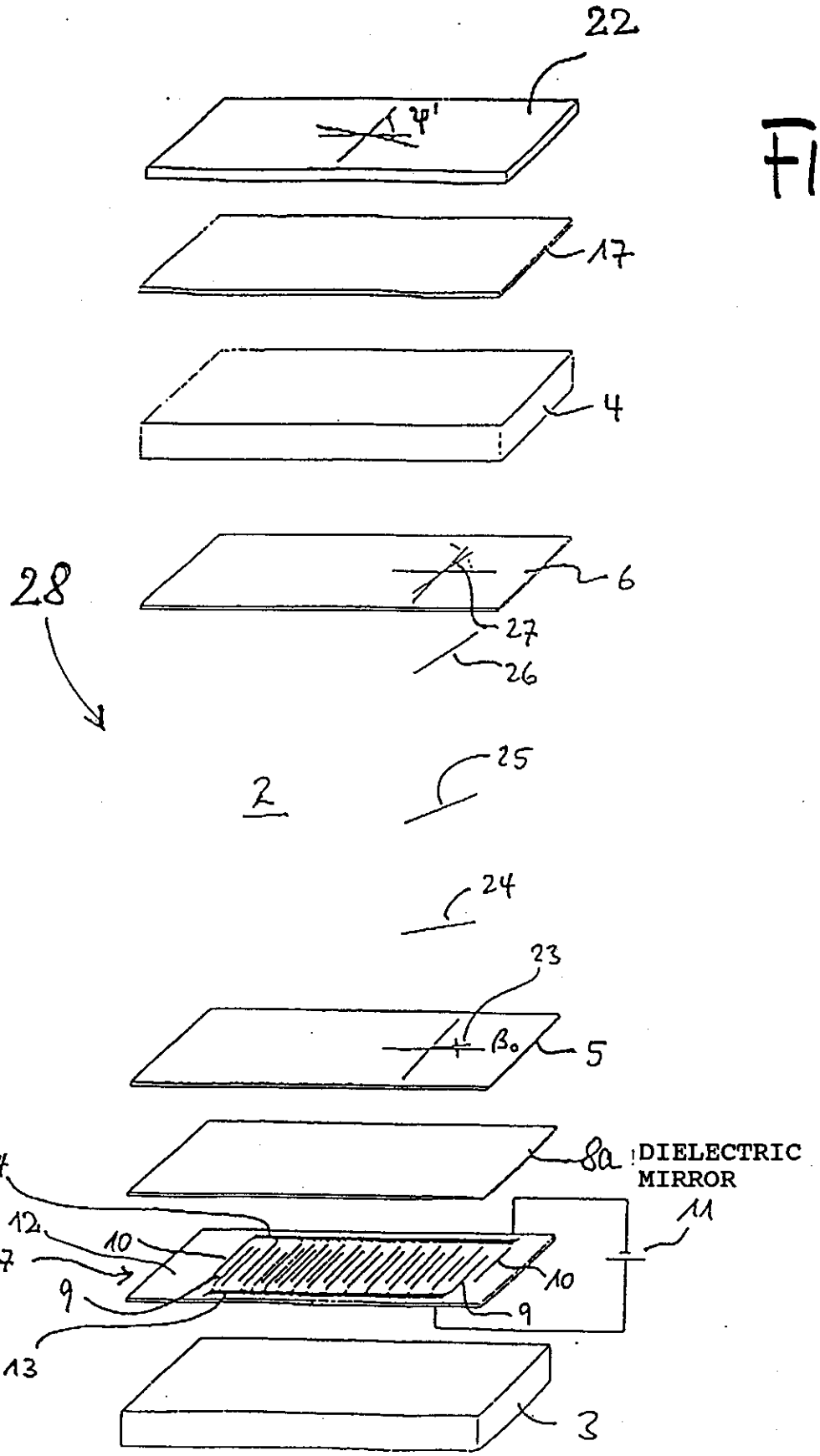


FIG. 3



M26.06.9

FIG. 4


22
φ'
17
4
28
6
27
26
2
25
24
23
β₀
5
8a
DIELECTRIC MIRROR
14
12
10
11
7
9
10
9
13
3

M28-06-9

FIG 5

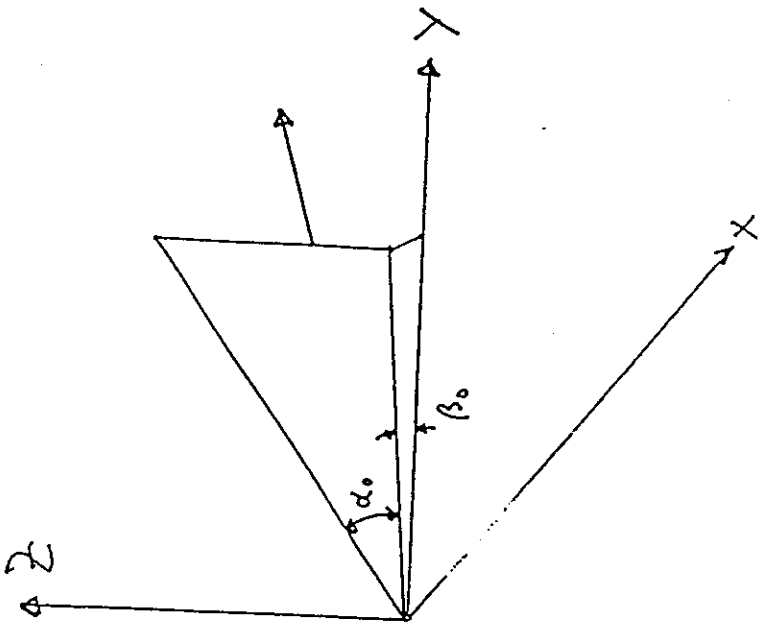
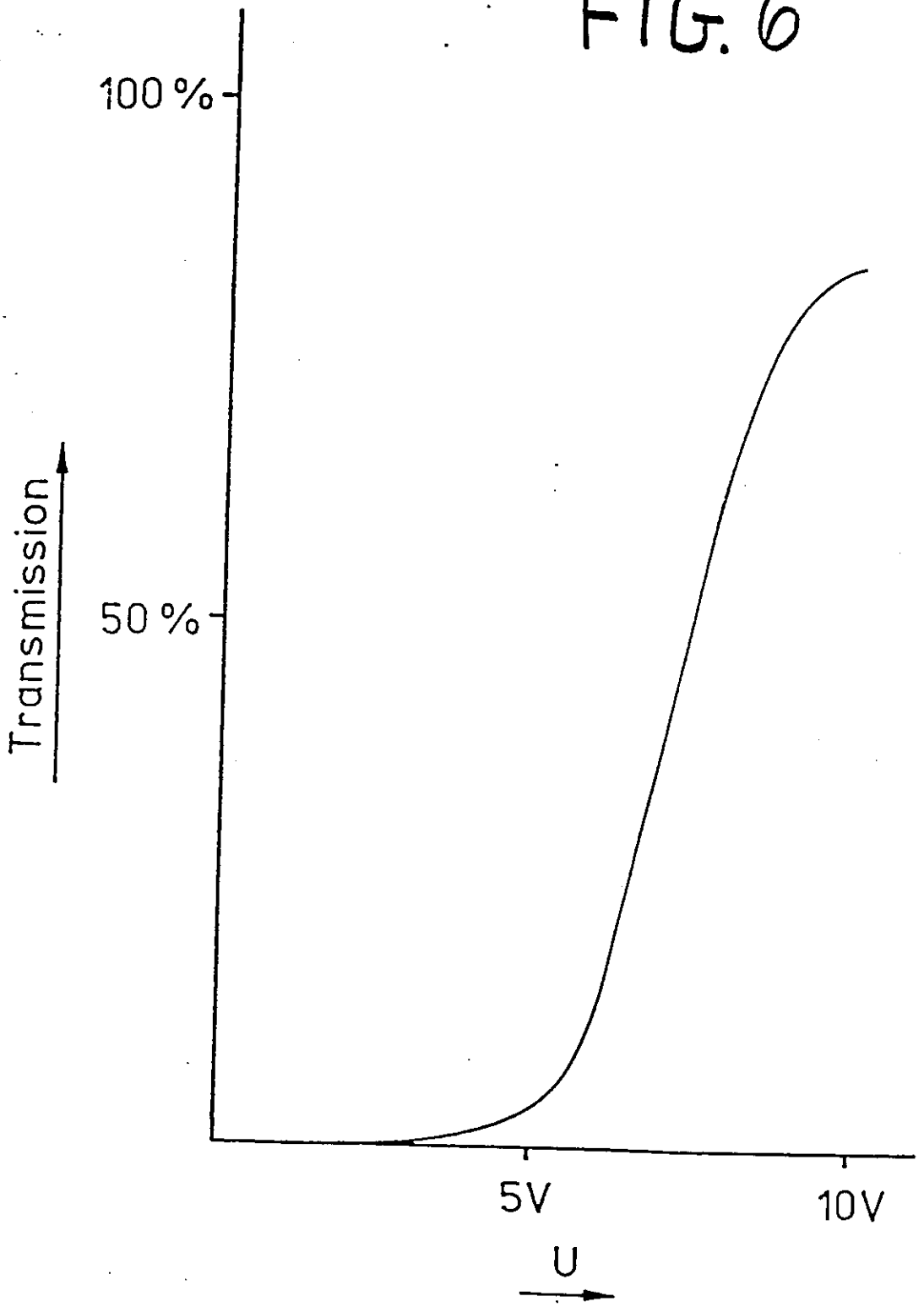


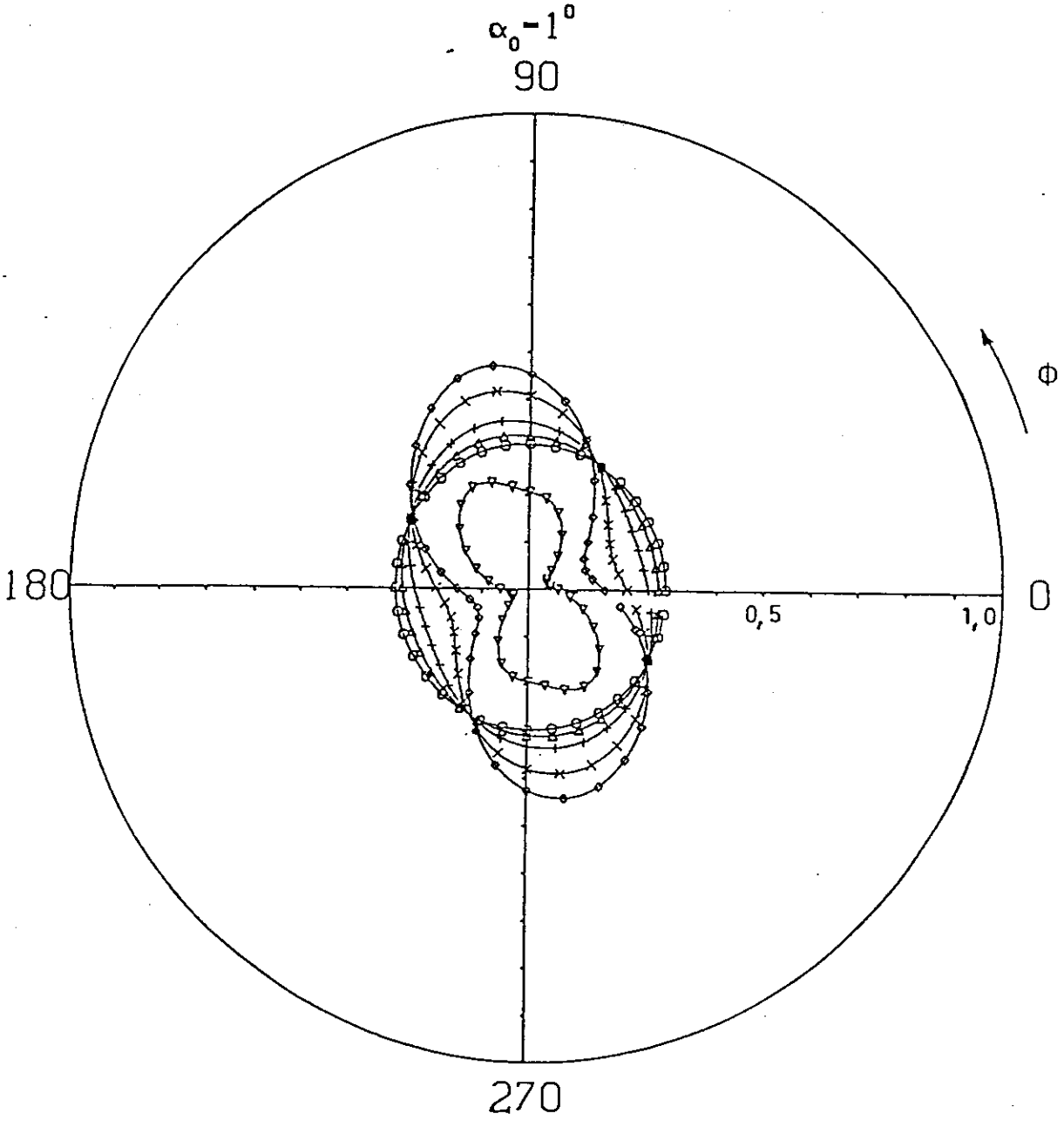
FIG. 6



TEXT APPROVED FOR GRANT

FIG. 7

TRANSMISSION=f(θ,Φ)



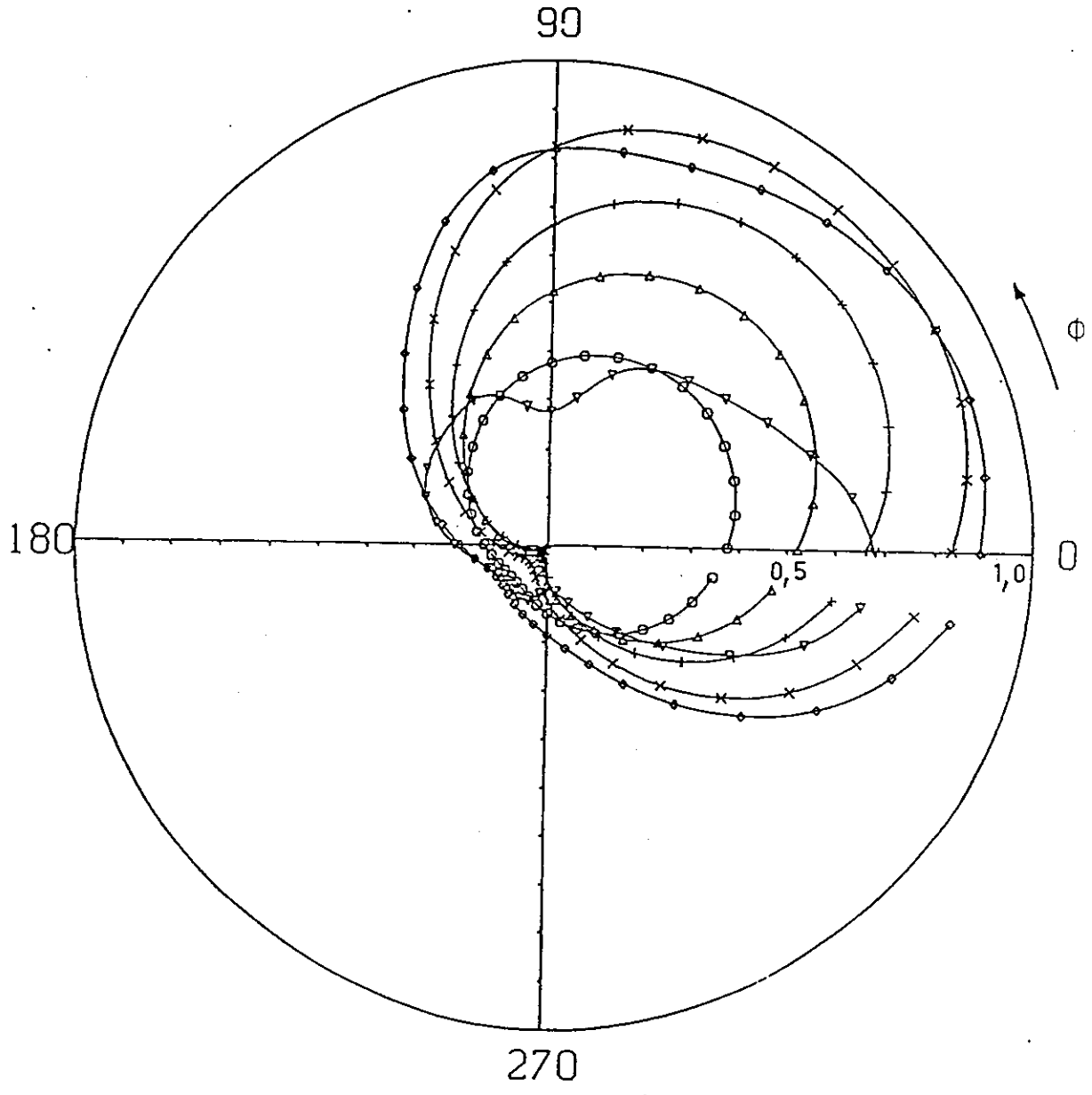
n_o-1,5595, d-8,0μ, λ-550nm
Pol/An- 0°/90°, n_o=1,50

THETA
- ○ - 10 DEGREES
- △ - 20 DEGREES
- \+ - 30 DEGREES
- × - 45 DEGREES
- ○ - 60 DEGREES
- ▽ - 80 DEGREES

FIG. 8

TRANSMISSION=f(θ,Φ)

Twist-90°, α_0-1°, d/p-0,25



n_e-1,5595, d-8,0μ, λ-550nm
Pol/An- 0°/0°, h_0= 1,50

THETA
- ○ - 10 DEGREES
- △ - 20 DEGREES
- \+ - 30 DEGREES
- × - 45 DEGREES
- ◇ - 60 DEGREES
- ▽ - 80 DEGREES

REGISTER ENTRY FOR EP0509025

European Application No EP91902096.6 filing date 09.01.1991

Application in German

Priority claimed:
09.01.1990 in Federal Republic of Germany - doc: 4000451

PCT EUROPEAN PHASE
PCT Application PCT/EP91/00022 Publication No WO91/10936 on 25.07.1991

Designated States DE FR GB

Title ELECTRO-OPTICAL LIQUID CRYSTAL SWITCH ELEMENT.

Applicant/Proprietor
FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V., Leonrodstrasse 54, W-8000 München 19, Federal Republic of Germany [ADP No. 50018324001]

Inventors
GÜNTER BAUR, Waldhofstrasse 8d, W-7800 Freiburg, Federal Republic of Germany [ADP No. 60211802001]

WALTRAUD FEHRENBACH, Riedgaustrasse 11, d-8000 München 80, Federal Republic of Germany [ADP No. 60211810001]

BARBARA STAUDACHER, Münchgrund 8a, W-7637 Ettenheim, Federal Republic of Germany [ADP No. 60211828001]

FRIEDRICH WINDSCHEID, Etzmattenstrasse 24, W-7800 Freiburg-Tiengen, Federal Republic of Germany [ADP No. 60211836001]

RUDOLF KIEFER, Im Gottesacker 20, W-7801 Vörstetten, Federal Republic of Germany [ADP No. 60211844001]

Classified to
G02F

Address for Service
ELKINGTON AND FIFE, Prospect House, 8 Pembroke Road, SEVENOAKS, Kent, TN13 1XR, United Kingdom [ADP No. 00000067004]

EPO Representative
DR. WALTER KRAUS, Patentanwälte Kraus, Weisert & Partner
Thomas-Wimmer-Ring 15, W-8000 München 22, Federal Republic of Germany [ADP No. 50911288001]

Publication No EP0509025 dated 21.10.1992 and granted by EPO 08.06.1994.
Publication in German

Examination requested 26.06.1992

Patent Granted with effect from 08.06.1994 (Section 25(1)) with title ELECTRO-OPTICAL LIQUID CRYSTAL SWITCH ELEMENT. Translation filed 23.05.1994

06.05.1994 Notification from EPO of change of Applicant/Proprietor details
from
FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V., Leonrodstrasse 54, W-8000 München 19, Federal Republic of
Germany [ADP No. 50018324001]
to
FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V., Leonrodstrasse 54, D-80636 München, Federal Republic of
Germany [ADP No. 50018324001]
Entry Type 25.14 Staff ID. RD06 Auth ID. EPT

06.05.1994 Notification from EPO of change of EPO Representative details from
DR. WALTER KRAUS, Patentanwälte Kraus, Weisert & Partner
Thomas-Wimmer-Ring 15, W-8000 München 22, Federal Republic of
Germany [ADP No. 50911288001]
to
DR. WALTER KRAUS, Patentanwälte Kraus, Weisert & Partner
Thomas-Wimmer-Ring 15, D-80539 München, Federal Republic of Germany
[ADP No. 50911288001]
Entry Type 25.14 Staff ID. RD06 Auth ID. EPT

06.05.1994 Notification from EPO of change of Inventor details from
GÜNTER BAUR, Waldhofstrasse 8d, W-7800 Freiburg, Federal Republic
of Germany [ADP No. 60211802001]

WALTRAUD FEHRENBACH, Riedgaustrasse 11, d-8000 München 80, Federal
Republic of Germany [ADP No. 60211810001]

BARBARA STAUDACHER, Münchgrund 8a, W-7637 Ettenheim, Federal
Republic of Germany [ADP No. 60211828001]

FRIEDRICH WINDSCHEID, Etzmattenstrasse 24, W-7800 Freiburg-Tiengen,
Federal Republic of Germany [ADP No. 60211836001]

RUDOLF KIEFER, Im Gottesacker 20, W-7801 Vörstetten, Federal
Republic of Germany [ADP No. 60211844001]
to
GÜNTER BAUR, Waldhofstrasse 8d, D-7800 Freiburg, Federal Republic
of Germany [ADP No. 57367088001]

WALTRAUD FEHRENBACH, Riedgaustrasse 11, d-8000 München 80, Federal
Republic of Germany [ADP No. 60211810001]

BARBARA STAUDACHER, Münchgrund 8a, D-7637 Ettenheim, Federal
Republic of Germany [ADP No. 61985826001]

FRIEDRICH WINDSCHEID, Etzmattenstrasse 24, D-7800 Freiburg-Tiengen,
Federal Republic of Germany [ADP No. 61985834001]

RUDOLF KIEFER, Im Gottesacker 20, D-7801 Vörstetten, Federal
Republic of Germany [ADP No. 61985842001]
Entry Type 25.14 Staff ID. RD06 Auth ID. EPT

**** END OF REGISTER ENTRY ****

RENEWAL DETAILS

PUBLICATION NUMBER	EP0509025

PROPRIETOR(S)

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V., Leonrodstrasse 54, D-80636 München, Federal Republic of Germany

DATE FILED	09.01.1991
DATE GRANTED	08.06.1994
DATE NEXT RENEWAL DUE	09.01.1995
DATE NOT IN FORCE	
DATE OF LAST RENEWAL	
YEAR OF LAST RENEWAL	00
STATUS	PATENT IN FORCE