

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-15150

(P2010-15150A)

(43) 公開日 平成22年1月21日(2010.1.21)

(51) Int.Cl.

G02F 1/13363 (2006.01)

F I

G02F 1/13363

テーマコード (参考)

2H191

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L 外国語出願 (全 52 頁)

(21) 出願番号 特願2009-156572 (P2009-156572)
 (22) 出願日 平成21年7月1日(2009.7.1)
 (31) 優先権主張番号 61/077, 710
 (32) 優先日 平成20年7月2日(2008.7.2)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 502151820
 ジェイディーエス ユニフェイズ コーポ
 レーション
 JDS Uniphase Corpor
 ation
 アメリカ合衆国 95035 カリフォル
 ニア州 ミルピータス エヌ. マッカーシ
 ーブルヴァード 430
 430 N. McCarthy Bou
 levard, Milpitas, C
 alifornia, 95035, U
 SA
 (74) 代理人 100090583
 弁理士 田中 清

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高次波長板を含むマイクロディスプレイ・パネルのコントラスト補償

(57) 【要約】

【課題】Oプレートとして構成され、かつ薄膜トランジスタ層を支持する高次波長板を有する液晶(LC)マイクロディスプレイのパネル・コントラストを改善するためのコントラスト補償器を提供すること。

【解決手段】このコントラスト補償器は、薄膜トランジスタ基板の複屈折と符号が反対の複屈折を有するOプレートとして構成された逆高次波長板を含む。

【選択図】図3

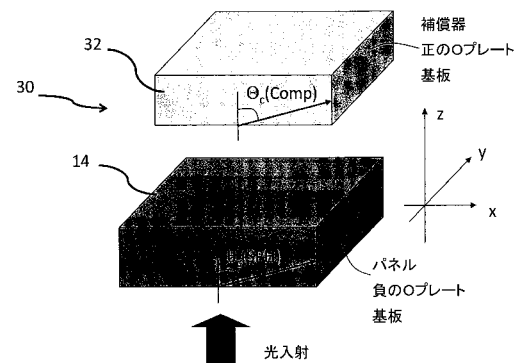


Fig. 3

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の基板、第 2 の基板、および前記第 1 の基板と前記第 2 の基板の間に配置された液晶層を含み、前記第 1 の基板が、O プレートとして構成されかつ薄膜トランジスタ層を支持する第 1 の高次波長板を含む液晶マイクロディスプレイ・パネルと、

前記第 1 の基板のスペクトルおよび角度の線形リターダンス分散を補償するための、O プレートとして構成された第 2 の高次波長板を含み、前記第 2 の高次波長板が、前記第 1 の高次波長板の複屈折と符号が反対の複屈折を有するリターダ補償器と、
を備える液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 2】

前記第 2 の高次波長板の厚さおよび C 軸の傾斜角が、前記第 2 の高次波長板のスペクトルおよび角度の線形リターダンス分散が前記第 1 の高次波長板の前記スペクトルおよび角度の分散を実質的に打ち消すように選択される請求項 1 に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 3】

前記第 1 の高次波長板の前記 C 軸が、前記第 2 の高次波長板の C 軸と同一の傾斜面で配向される請求項 2 に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 4】

前記液晶マイクロディスプレイ・パネルが偏光子と検光子の間に配置され、前記傾斜面が前記偏光子の透過軸および前記検光子の透過軸のうちの 1 つと実質的に平行である請求項 3 に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 5】

前記第 1 の高次波長板の前記 C 軸が、前記第 2 の高次波長板の C 軸と同一の傾斜面で配向される請求項 1 に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 6】

前記第 1 の高次波長板が高次サファイア波長板を備える請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 7】

前記第 2 の高次波長板が高次石英波長板を備える請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 8】

前記第 2 の高次波長板が高次石英波長板を備える請求項 6 に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 9】

前記第 1 の高次波長板の厚さが少なくとも 200 マイクロメートルであり、前記第 2 の高次波長板の厚さが少なくとも 200 マイクロメートルである請求項 8 に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 10】

前記リターダ補償器が前記第 2 の高次波長板に結合されたトリム・リターダを備える請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 11】

前記トリム・リターダが、前記第 2 の高次波長板上に堆積された薄膜複屈折層および薄膜構造複屈折層のうち少なくとも 1 つを備える請求項 10 に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 12】

前記薄膜複屈折層および前記薄膜構造複屈折層が、A プレート、C プレート、および O プレートのうちの 1 つとして構成される請求項 11 に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【請求項 13】

前記薄膜複屈折層および前記薄膜構造複屈折層が、単一層の A プレートとして構成される請求項 11 に記載の液晶マイクロディスプレイ。

10

20

30

40

50

【請求項 14】

前記リターダ補償器が前記第2の高次波長板に結合されたトリム・リターダを備える請求項8に記載の液晶マイクロディスプレイ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、一般にコントラスト補償に関し、具体的には高次波長板を含む液晶マイクロディスプレイ・パネルのコントラスト補償に関する。

【背景技術】

【0002】

液晶（LC）マイクロディスプレイは、投影システムで広範に見られ、例えばビジネス・プレゼンテーションおよび家庭用娯楽器具（例えば大画面テレビ）で使用される。一般に、これら比較的小型の表示装置（例えば、一般に対角線上で1.5インチ未満のもの）は、適当な表示サイズに投影映像を拡大する1つまたは複数の光学レンズと結合される。従来、LCマイクロディスプレイは、2つのタイプの技術（すなわち反射型マイクロディスプレイ（例えばシリコン上の液晶（LCOS））または透過型マイクロディスプレイ）のうち1つに基づくものであった。

【0003】

一般的な透過性LCマイクロディスプレイは、フロント透明板とバック透明板の間に挟まれた液晶材料の層（例えば、垂直整列（VA）モード、面内切替（IPS）モード、平面整列（PA）モード、あるいは、より一般的には90度ツイステッド・ネマチック（TN）モード）を含む。バック板はパターンニングされた電極層を含むが、一方フロント板は共通電極層を含み、各共通電極層は、一般にインジウム錫オキサイド（ITO）などの透明材料から形成される。90度のTNモードLCが使用されるとき、フロント板およびバック板は、一般に、LC分子がらせん構造またはツイストで配置されるように互いに垂直に整列する整列層を含む。印加電圧が存在しないとき（すなわちオフ状態で）、ツイストされた機構は、直線状に偏光された入射光の偏光を約180度回転させる。十分に大きな印加電圧が存在するとき（すなわちオン状態で）、LC分子は、直線状に偏光された入射光の偏光が回転しないようにツイストを解消し始める。このLCセルは、一般に、偏光子と、平行な透過軸を有する（すなわち通常黒色の）検光子またはより一般的には垂直な透過軸を有する（すなわち通常白色の）検光子の間に配置される。

【0004】

市販のシステムでは、透過性LCマイクロディスプレイは通常能動マトリクス・システムを用いるが、このシステムでは、薄膜トランジスタ（TFT）のマトリクスが電極によって印加された電圧を制御する。より詳細には、各TFTは、各表示画素におけるLCの配向を制御するスイッチング要素として機能する。従来、能動TFT層は、ガラスのバック板上にシリコン（例えば、アモルファス・シリコン、ポリシリコン、または結晶シリコン）を堆積することにより形成されている。最近になって、シリコン層向けの基板としてサファイアを用いることの利点が認識されている。例えば、サファイアは、可視帯で光学的透明性を示す、単結晶シリコンの成長を助長する半導体であり、したがって製造の複雑さおよびコストを低減する。さらに、サファイアは電子および正孔の移動性が高く、それによって高速論理切替えが可能になるので、サファイアはTFT製造に望ましい。その上、サファイアは、高温ポリシリコンTFTで用いられる従来のガラス基板より高い熱伝導率を有し、したがって高輝度照明システムにおいて効率的な熱放散をもたらす。

【0005】

残念ながら、LC TFTの製造のために基板としてサファイアを使用すると、LCマイクロディスプレイのパネル・コントラスト比に対して悪影響があることが判明している。例えば、米国特許第7,480,017号では、Fisherらは、LCマイクロディスプレイにサファイアを使用すると、液晶材料を通過する光が偏光解消されてオン/オフ・コントラスト比が低下することを教示している。Fisherらは、サファイア基板を通過する光の

10

20

30

40

50

偏光解消を補正するために、能動シリコン・バック板に対してワイヤ・グリッドまたは他の偏光子を組み込むことにより、コントラスト比を改善することを教示している。内部偏光子によってサファイア基板上に構築された透明なマイクロディスプレイのコントラストがかなり改善すると述べられているが、この改善は、光輝度の損失（例えば、内部偏光子は、楕円偏光を有するサファイア基板を介して伝送された光の一部分をフィルタリングする）という犠牲のもとに達成される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許第7,480,017号

10

【発明の概要】

【0007】

本発明は、コントラスト補償器に関し、これは、例えばサファイア板を有する液晶（LC）マイクロディスプレイのパネル・コントラストを改善するために使用することができる。このコントラスト補償器は高次波長板を含み、この高次波長板は、LC TFT（例えばサファイア）向けに使用される透明な半導体基板に見られる有効な波長帯域（例えば可視帯）および角度範囲（例えば ± 12 度のコーン照明）にわたって、スペクトルおよび角度の線形リターダンスにおける変化を補償するように選択された厚さおよび対称性を有する。

【0008】

20

本発明の一態様によれば、第1の基板、第2の基板、および第1の基板と第2の基板の間に配置された液晶層を含み、その第1の基板が、Oプレートとして構成されかつ薄膜トランジスタ層を支持する第1の高次波長板を含む液晶マイクロディスプレイ・パネルと、第1の基板のスペクトルおよび角度の線形リターダンス分散を補償するための、Oプレートとして構成された第2の波長板を含み、その第2の高次波長板が、第1の高次波長板の複屈折と符号が反対の複屈折を有するリターダ補償器と、を備える液晶マイクロディスプレイが提供される。

【0009】

本発明のさらなる特徴および利点が、添付図面と一緒に以下の詳細な説明を解釈することから明らかになるであろう。

30

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1A】透過性LCパネルの断面図である。

【図1B】図1Aに示された高次サファイア基板の構成を示す図である。

【図2】図2Aは高次サファイア基板を有するTNモードLCパネルに関する実験に基づく線形リターダンス・マップを示す図である。図2Bは高次サファイア基板を有する計算上のTNモードLCパネルに関する線形リターダンス・マップを示す図である。

【図3】本発明の一実施形態によって高次サファイア基板と縦に連結したリターダ補償器の概略図である。

【図4】石英リターダ補償器および高次サファイア基板の、スペクトルおよび角度の線形リターダンスの曲線あてはめ結果を示す図である。

40

【図5】石英リターダ補償器および高次サファイア基板の両方に関するモデル化されたリターダンス・データを用いて、石英リターダ補償器および高次サファイア基板に関して計算された線形リターダンス・マップの定性的比較を示す図である。

【図6】図6Aは石英リターダ補償器および高次サファイア基板の両方に関するモデル化されたリターダンス・データを用いて、高次サファイア基板とカスケード接続された石英補償器に関して青色帯域で計算された有効リターダンスおよびコノスコープ・リークを示す図である。図6Bは石英リターダ補償器および高次サファイア基板の両方に関するモデル化されたリターダンス・データを用いて、高次サファイア基板とカスケード接続された石英補償器に関して緑色帯域で計算された有効リターダンスおよびコノスコープ・リーク

50

を示す図である。図 6 C は石英リターダ補償器および高次サファイア基板の両方に関するモデル化されたリターダンス・データを用いて、高次サファイア基板とカスケード接続された石英補償器に関して赤色帯域で計算された有効リターダンスおよびコノスコープ・リークを示す図である。

【図 7】高次サファイア基板に関する実験に基づくリターダンス・データを用いて、石英リターダ補償器および高次サファイア基板に関する線形リターダンス・マップの定性的比較を示す図である。

【図 8】図 8 A は高次サファイア基板に関する実験に基づくリターダンス・データを用いて、高次サファイア基板とカスケード接続された石英補償器に関する青色帯域での有効リターダンスおよびコノスコープ・リークを示す図である。図 8 B は高次サファイア基板に関する実験に基づくリターダンス・データを用いて、高次サファイア基板とカスケード接続された石英補償器に関する緑色帯域での有効リターダンスおよびコノスコープ・リークを示す図である。図 8 C は高次サファイア基板に関する実験に基づくリターダンス・データを用いて、高次サファイア基板とカスケード接続された石英補償器に関する赤色帯域での有効リターダンスおよびコノスコープ・リークを示す図である。

【図 9】石英の層の厚さ、C 軸極角、および C 軸方位角の範囲に関する計算されたコントラスト比を示すグラフである。

【図 10】カスケード接続された機構に関する、方位角、極角、および厚さの公差を示す図である。

【図 11】厚い複屈折結晶板におけるビーム・ウォークオフを示す概略図である。

【図 12】高次のサファイア板および石英板に関する、ウォークオフ対 C 軸傾斜を示すグラフである。

【図 13 A】サファイアの C 軸配向と TN LC の遅軸配向の 16 の可能な組合せを示す概略図である。

【図 13 B】リターダンス整合時のトリム・リターダの遅軸配向を示す概略図である。

【図 13 C】リターダンス不整合時のトリム・リターダの、可能性がある遅軸配向を示す概略図である。

【図 14】本発明の一実施形態によって、トリム・リターダ、TN モード LC 層、および高次サファイア基板と縦に連結したリターダ補償器の概略図である。

【図 15】トリム・リターダが単一層の A プレートであるとき、トリム・リターダの可能な遅軸配向に関するコントラスト比対リターダ遅軸を示すグラフである。

【図 16】モデル化されたリターダンス・データを用いて、石英補償器上の A プレートおよび TN / サファイア・パネルに関して計算された線形リターダンス・マップの定性的比較を示す図である。

【図 17】モデル化されたリターダンス・データを用いて、青色帯域、緑色帯域、および赤色帯域で、石英補償器上の A プレートおよび TN / サファイア・パネルに関して計算された有効なリターダンスおよびコノスコープ・リークを示す図である。

【図 18】TN / サファイア・パネルに関する実験に基づくリターダンス・データを用いて、青色帯域、緑色帯域、および赤色帯域で、石英補償器上の A プレートおよび TN / サファイア・パネルに関して計算された有効なリターダンスおよびコノスコープ・リークを示す図である。

【図 19 A】交差軸構成の 2 つのサファイア板および平行構成のサファイア板 / 石英板に関する線形リターダンス・マップとコノスコープ・リーク・マップの比較を示す図である。

【図 19 B】交差軸構成の 2 つのサファイア板および平行構成のサファイア板 / 石英板に関する線形リターダンス・マップとコノスコープ・リーク・マップの比較を示す図である。

【図 20】3 つのパネルの透過性 LC マイクロディスプレイ投影システムの光エンジンを示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

添付図面の全体にわたって、同じ機構は同じ参照数字によって特定されることに留意されたい。

【 0 0 1 2 】

一般に明状態での光輝度と暗状態での光輝度の比を意味するパネル・コントラスト比は、LCマイクロディスプレイの重要な特性である。従来の90度TN透過性型マイクロディスプレイでは、パネルが斜めに観察されるとき、パネル・コントラスト比がかなり低下する。視角によるコントラスト比の変化は、一般に視角特性と称される。

【 0 0 1 3 】

透過性LCマイクロディスプレイのパネル・コントラスト比および/または視角特性を改善するために、しばしばリターダ補償器が使用される。リターダ補償器は、一般に、偏光子とLCセルの間および/または検光子とLCセルの間に配置される。リターダ補償器は、任意選択で、様々な物理的厚さ、液晶および偏光子の角度に対する光軸配向、または複屈折の符号をそれぞれ有する複屈折材料の複数の層を含むことになる。実際、効率的なコントラスト向上をもたらすために、リターダ補償器は、1つまたは複数のAプレート（例えば、その光学軸が要素の表面に対して平行な1軸の複屈折要素）、Cプレート（例えば、その光学軸が要素の表面に対して垂直な1軸の複屈折要素）、および/またはOプレート（例えば、その光学軸が要素の表面に対して斜角を有する1軸の複屈折要素）を含むことが多く、それらは、それぞれが正または負でよい。例えば、VAモードLCマイクロディスプレイで使用されるリターダ補償器は、面内リターダンスおよび面外リターダンスを有する傾斜したOプレートを含んでよく、後者は視界（FOV）向上に使用されるが、TNモードLCマイクロディスプレイで使用されるリターダ補償器は、面内リターダンス、面外リターダンスおよび循環リターダンスを示してよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

それぞれの場合で、リターダ補償器は、例えば暗状態のLC層が示す比較的小さいリターダンス（例えば約50nm未満であることが多い面内リターダンス）を補償するのに使用される。したがって、リターダ補償器は、トリム・リターダ補償器または単にトリム・リターダと称されることが多い。もともと、トリム・リターダはフィルムの補償として製作されたものである。例えば、トリム・リターダは、トリアセート・セルロース（TAC）基板上のディスコティック層から成る富士フィルムのWideView (WV) film（商標）など、伸長した有機フォイルから製作されている。他の補償フィルムが、例えば、T.Bachelsら、「Novel Photo-aligned LC -Polymer Wide-View Film for TN Displays」、Eurodisplay 2002、10-3、183頁、J. Chenら、「Wide Viewing Angle Photoaligned Plastic Films for TN-LCDs」、SID 99、10-4、頁、およびH. Moriら、「Novel Optical Compensation Method Based upon a Discotic Optical Compensation Film for Wide Viewing Angle LCDs」、SID 03、32.3、1058頁に論じられている。最近になって、トリム・リターダにおける構造複屈折性の薄膜コーティングを用いる利点の実現されており（例えば米国特許第7,170,574号および米国特許出願第20070070276号を参照されたい）、これらの両方を参照によって本明細書に組み込む。

【 0 0 1 5 】

補償フィルムおよび/または薄膜コーティングにトリム・リターダンスを与えると、真のゼロ次波長板としてトリム・リターダを製作することが可能になる。一般に、ゼロ次波長板は必要な位相遅れのみをもたらす（すなわち、リターダがゼロ次の4分の1波長板であると、0.25波の位相遅れだけがもたらされる）。それと対照的に、高次波長板は、必要な位相遅れよりいくつかの固有値だけ大きい（例えば、全波長板については 2π の整数倍大きく、あるいは4分の1波長板については $\pi/2$ の奇数整数倍大きい）相対的位相遅れをもたらす。原理的には、高次波リターダは、ゼロ次波リターダと同様に動作するはずである。例えば、10次の4分の1波長板（例えば5.25波）は、所与の波長に対して、ゼロ次の4分の1波長板（例えば0.25波）と同様に動作するはずである。しかし、實際上、高次波長板は、分散および温度依存性が大きいために、一般にトリム・リター

ダとして使用されていない。特に、分散が大きいと、可視帯内のすべての波長チャネルが適切に補償されるわけではなくなり、通常LCマイクロディスプレイ（例えば青色の460nm帯域、緑色の550nm帯域、および赤色の620nm帯域のそれぞれに対して1つ）以上のものを含む透過性LCDプロジェクタで特に問題がある。

【0016】

残念ながら、従来技術のトリム・リターダは、従来の透過性TNモードLCマイクロディスプレイ・パネルのコントラストを比較的広い帯域幅にわたって数百対1から十分により高いものへ改善することが証明されているが、LCマイクロディスプレイがサファイア半導体基板を含むとき、コントラスト比および/または視角特性をかなり改善することに成功していない。

10

【0017】

サファイア半導体基板は、可視帯で透明な複屈折結晶板である。たとえば、サファイア板の複屈折が比較的低い（例えば550nmで約0.008）場合でも、LCセルを挟むのに十分な支持をもたらすために必要な厚さ（例えば0.4mmから1mmの間の物理的厚さ）は、数マイクロメートルのリターダンスをもたらすことになる。

【0018】

さらに、サファイアのR面がTFE製造にしばしば選択されるので、サファイア半導体基板はOプレートとして構成されることが多い。R面は、板の法線に対して約57.6度でサファイアの光学軸整列またはC軸整列をもたらす結晶カットである。このOプレート構成は、C軸傾斜面に近い観察面での入射角の関数として大きなリターダンス傾斜が存在することを意味する。高次リターダンスによって、偶数および奇数のリターダンス次数で交番が生じ、垂直入射での有効リターダンスは可視帯内で0から π へ数回変化する。これらのリターダンス変化によって、達成可能なパネル・コントラストが低下し、具体的には視角特性が低下する。例えば、対応する線形リターダ軸が偏光子に対して平行/垂直に整列しないとき、交差偏光子のセットアップを通じて劣化が生じることになる。

20

【0019】

図1Aを参照すると、サファイア・バック板を内蔵する透過性LCパネルの断面が示されている。透過性LCパネル10は、サファイア・バック板14とカバー板16の間に挟まれたLC層12を含む。LC層12は、90度ツイスト・ネマチック（TN）モードLC、垂直整列（VA）モードLC、面内切替え（IPS）モードLC、または平面整合（PA）モードLCなどのLC材料から形成される。サファイア・バック板14は複屈折結晶板であり、これは、LC層12のLCディレクタの配向を制御するのに使用される能動マトリクス画素のアドレッシング回路（図示せず）を支持する。カバー板16はガラス板である。任意選択で、LCモード次第で、透過性LCパネル10は、1つまたは複数の電極18A、18Bおよび1つまたは複数の整列層19A、19Bも含むことになる。一般に、透過性LCパネル10は、2つの偏光子20A、20Bの間に配置されることになる。2つの偏光子20A、20Bが、それらの透過軸が直交するように配向される場合、第1の偏光子20Aは一般に偏光子と称され、一方第2の偏光子20Bは検光子と称される。図1Bを参照すると、サファイア基板14のC軸は57.6度の極角で配向され（すなわち、そのC軸傾斜は基板の法線から57.6度である）、一方R面は板の表面と一致する。サファイア・バック板14のC軸は、偏光子20Aの透過軸に対して、一般に平行または垂直に整列する。

30

40

【0020】

図1Aに示されたものに類似のLCパネル10に関するFOVリターダンスの実験によるデータおよび計算されたデータが、それぞれ図2Aおよび図2Bに示されている。それぞれの場合で、LC層は、暗状態で約10nmの面内リターダンスを示すTNモードLCを含み、一方サファイア・バック板の厚さは約600マイクロメートルであった。計算されたデータを生成するのに用いられたモデルでは、サファイアの常光線屈折率 n_o および異常光屈折率 n_e は、それぞれ1.7706および1.7650であると想定され、波長550nmで-0.0081に等しい複屈折 Δn を示す。可視帯にわたって全分散が利用

50

された。サファイア・バック板の厚さは 576.6 マイクロメートルであった。この厚さで、サファイア・バック板は 12 次の波長板である。換言すれば、このサファイア・バック板は高次の負の O プレートである。有効リターダンスは、530 nm 波長の 12 次では 45 度（アンラップでは 2205 度）である。実験結果および計算結果の両方に関して、0 次ヘラップしたリターダンスが入射の極角 / 方位角に対して急激に変化することは明白である。実験によると、垂直入射での平均の線形リターダンスは 44.1 度であった。計算では、垂直入射での平均の線形リターダンスは 47.4 度であった。

【0021】

本発明の一実施形態によれば、カウンター複屈折基板を含み高次波長板でもあるリターダ補償器が、サファイア基板で導入されたリターダンスの波長分散および角度分散を低下させるのに使用され、したがって、サファイア・バック板を含む透過性 TN モード LC マイクロディスプレイのコントラスト比および視角特性を改善する。

【0022】

図 3 を参照すると、サファイア基板 14 に対して反対の複屈折の符号を有する材料から形成されたカウンター複屈折板 32（すなわち、サファイアが負の複屈折を示すため、複屈折板 32 は正の複屈折を有する）は、基板の法線に対して傾斜した C 軸整列も有する（すなわち、複屈折板 32 は正の O プレートである）。複屈折板 32 は、その C 軸配向およびリターデーションの次数が、サファイア基板 14 のスペクトルおよび角度の線形リターダンス・プロファイルを実質的に補完するように製作される。したがって、複屈折板 32 の C 軸がサファイア板 14 の C 軸と同一の傾斜面に沿って整列するようにリターダ補償器 30 が整列するとき、2 つの基板は、すべての波長および角度点で有効リターダンスをかなり（例えば理想的にはゼロへ）低下させるように協同して機能する。

【0023】

複屈折板 32 を製作するのに適当な材料の一例は石英である。石英結晶板は、正の複屈折を有し、サファイア結晶板とほぼ同一の複屈折分散を有する。したがって、C 軸整列および石英基板の厚さを適切に選択すると、補償板 32 およびサファイア基板 14 は、動作のすべての光線角度およびすべての波長で、ほぼ等しく、かつ符号が反対のリターダンスをもたらすように協同して機能することになる。その結果、サファイア基板 14 の大きなリターダンスがシステム・コントラストに悪影響を及ぼすことがない。

【0024】

適当な石英層パラメータ（例えば厚さならびに C 軸の方位角および極角）を求めるために、公称の石英補償板の波長および角度リターダンス・スペクトルは、公称のサファイア板のものと整合するように適合された。前述のように、このサファイア板の常光線屈折率 n_o および異常光屈折率 n_e は、それぞれ 1.7706 および 1.7650 であると想定され、波長 550 nm で -0.0081 に等しい複屈折 Δn を示した。公称のサファイア板の C 軸傾斜は、基板の法線から 57.6 度であった。サファイア板の厚さは 576.6 マイクロメートルであった。石英の補償板については、常光線屈折率 n_o および異常光屈折率 n_e は、それぞれ 1.5461 および 1.5554 であると想定され、波長 550 nm で +0.0092 に等しい複屈折 Δn を示した。それぞれの場合で、可視帯にわたって全分散が利用された。

【0025】

図 4 を参照すると、石英板およびサファイア板のスペクトルのリターダンス分散（例えば左側のグラフ）および角度のリターダンス分散（例えば右側のグラフ）を、適当な石英パラメータと同時に整合させ得ることが確認される。例えば、石英の補償板が、基板の法線から約 61.1 度の C 軸傾斜を有し、かつ約 472.0 マイクロメートルの物理的厚さを有すると、スペクトルおよび / または角度のリターダンス分散は、実質的に整合するはずであることが計算結果によって示されている。とりわけ、この厚さで、石英の補償板は 12 次の波長板である。

【0026】

基板の法線からの C 軸配向が 57.6 度である厚さ 576.6 マイクロメートルのサフ

10

20

30

40

50

ファイア基板と板の法線からのC軸傾斜が 61.1 度である厚さ 472.0 マイクロメートルの石英補償板の定性的比較も、優れたコノスコープ整合を示した。例えば、図5で説明されるように、サファイア板(上)および石英板(下)に関して、計算された線形リターダンス(左側)、遅軸(中央)および循環リターダンス(右側)のコノスコープ図が示されている。各コノスコープ図は、波長 522 nm の入射光について、 360 度の方位角の面にわたって 0 度から 12 度の入射極角のリターダンス成分を示す。

【0027】

図6A、図6B、図6Cは、それぞれ、サファイア基板のC軸方位角が石英補償板のC軸方位角と平行なときの青色帯域(例えば波長 458 nm)、緑色帯域(例えば波長 522 nm)および赤色帯域(例えば波長 624 nm)における計算されたコントラストを示す。より詳細には、左側の図は、サファイア基板/石英補償板の組合せの有効線形リターダンス(すなわち、LC層および/または対応するトリム・リターダ補償器からのものなど他のリターデーション寄与を無視したもの)を示し、一方右側の図は、理想的交差偏光子の未加工の(例えば、システム基線によって重み付けされない)コントラストを示す。左側の図を参照すると、平均の垂直入射リターダンスは、青色帯域に関して 2.8 度、緑色帯域に関して 3.2 度、また赤色帯域に関して 5.9 度であり、複屈折補償がほぼ完全であることを示している。右側の図を参照すると、計算された2段コントラストの範囲は、青色帯域では約 $17,000$ から、緑色帯域では約 $29,000$ から、また赤色帯域では約 $28,000$ からである。換言すれば、サファイア・パネル基板および石英補償板から構成される2段システムのモデル化された単一通過コントラストは、緑色帯域および赤色帯域では $20,000:1$ を上回って達成される。

10

20

【0028】

図7を参照すると、石英補償板パラメータは、サファイア基板14の実験によるリターダンス・データと整合するように適合された。実験データは、サファイア板のC軸面をX軸と平行に配向して収集された。実験によるスペクトル・データは破線で示されている。石英については計算で、サファイアについては実験で得られた、スペクトル・リターダンス分散(例えば左側のグラフ)および角度リターダンス分散(例えば右側のグラフ)も、実質的に整合させ得ることが明白である。図8A、図8B、および図8Cを参照すると、計算されたコントラストは、青色帯域(例えば波長 458 nm)、緑色帯域(例えば波長 522 nm)および赤色帯域(例えば波長 624 nm)で、それぞれ $47,000$ 、 $40,000$ および $43,000$ であることが示されている。これらの、実験/モデルの組合せから計算されたコーン平均コントラストの結果は、モデルのみの結果よりかなり低く、青色帯域に関して $17,000$ 、緑色帯域に関して $29,000$ 、また赤色帯域に関して $28,000$ の計算されたコーン平均コントラストをもたらした。コーン・コントラストの低下は、サファイア基板の数値モデルにおける限界および/またはリターダンス計測学(すべての光線角度を石英基板のデータに完全に整合させることはできない)における誤差から生じる可能性がある。

30

【0029】

実際のプロジェクタ・システムでは、非理想の交差偏光子、LC/トリム・リターダの組合せ、および/またはサファイア基板/石英補償板の組合せから光漏れが生じる可能性がある。しかし、この大きな補償されたサファイア基板のコントラストは、LC層がそれ自体のリターダ(例えばトリム・リターダ)で、スタンド・アロンのトリム・リターダ組立体またはリターダ補償器30の一部として補完されるとき、達成することができるコントラストの上限が向上する。

40

【0030】

補償板32の厚さ(すなわち d)およびC軸配向(すなわち極角 θ_c および方位角 φ_c)の公差を求めるために、公称の石英板に関して、青色帯域(例えば波長 458 nm)、緑色帯域(例えば波長 522 nm)および赤色帯域(例えば波長 624 nm)のコントラスト比を計算した。図9を参照すると、上のグラフは、厚さが 469.0 ± 2 マイクロメートルの間で変化する石英板に関して計算されたコントラスト比を示し、中央のグラフは

50

、C軸の傾斜角すなわち極角 θ_c が 61.0 ± 0.5 の間で変化する石英板に関して計算されたコントラスト比を示し、また、下のグラフは、石英板が板の面内で理想的な整列から ± 1 度だけ回転するときに計算されたコントラスト比を示し、ここで石英板のC軸とサファイア板は同一の傾斜面にある。基線コントラストを $5,000:1$ と仮定すると、コントラスト比の計算結果は、緑色帯域におけるピーク・コントラストの 50% 超を維持するために、石英板の厚さの公差は $\pm 1\%$ であるべきであり、チルト軸の公差は $\pm 0.5\%$ であるべきであることを示す。方位角の公差に関して、計算されたコントラスト比は、石英のC軸傾斜面がサファイア傾斜面の ± 0.7 度以内にあるべきであることを示す。

【0031】

図10に示されたコンタ図を参照すると、厚さ d の誤差、極角 θ_c の誤差、および方位角 ϕ_c の誤差の間の関係が示されている。下の2つのグラフに示される方位角の公差は、一般的なベル形コントラストのロールオフに形を変える。上の図に示された極角誤差と基板厚さ誤差間の関係によって、補償石英板の傾斜角と厚さは、必要な面内リターダンスをもたらし、したがって改善されたコントラスト比をもたらすために、互いに依存することが確認される。具体的には、傾斜角がより大きいと、一般に板はより薄くなって面内リターダンス要件を満たす関係があり、一方、傾斜角がより小さいとより厚い板をもたらすことになる。

【0032】

上記に論じられた計算では、C軸が板の法線に対して約 61 度であるようにダイシングされた石英のOプレートは、TFT製造で使用されたサファイア基板と実質的に整合したスペクトルおよび角度のリターデーション変化をもたらし、このとき石英板は厚さ約 475 マイクロメートルであり、サファイア基板は約 58 度の傾斜角を有して厚さ約 585 マイクロメートルである。この厚さで、石英補償板は、 $\lambda = 550\text{ nm}$ にてアンラップで約 $2,200$ 度の線形リターダンスをもたらす12次のリターダである。石英補償板のC軸面は、サファイア基板のC軸面にほぼ整列している。

【0033】

実質的に整合したスペクトルおよび角度のリターダンス変化をもたらすことに加えて、この2段の平行に整列した機構は画像ぼけ補償ももたらす。サファイア・バック板を含むTNモードLCについては、o波方向からの基板モード異常波のウォークオフは、厚さ 585 マイクロメートルの基板の場合、約 2.5 マイクロメートルである。したがって、入射光に対するLCセル10内のサファイア基板14の位置次第で、このウォークオフは、検光子20Bに伝送される2組の画像を生成してよい。1組の画像の検光子のあらゆる不完全な消光が、クロストーク（例えば画像ぼけ）をもたらすことになる。石英補償板32のC軸がサファイア基板14のC軸と同一の傾斜面内で整列するように石英補償板32を位置決めすると、石英補償板は反対方向のウォークオフをもたらすことが可能になる。図11は、比較的厚い結晶板（すなわち、ここでサファイア基板14は 585 マイクロメートルの公称厚さを有し、石英補償板は 475 マイクロメートルの公称厚さを有する）によるウォークオフを示す。図12を参照すると、石英板についてはサファイア基板より大きな偏向がある。しかし、石英板がサファイア基板より薄いので、横方向へのずれの合計は両方の板でほぼ等しい。結果として、2つの画像は再びまとめられ、検光子による1組の画像の完全な消光に対する感度が低下する。有利には、このぼけ補償によって、コントラスト比は、マイクロディスプレイがサファイア側またはガラス基板側のどちらから照射されるかということに影響されにくくなる。

【0034】

サファイア・パネル14および石英補償板32を含む2段補償システムがモデル化され、向上したコントラスト比をもたらすことが示された。より詳細には、高次の石英波長板が、透過性LCマイクロディスプレイにおけるTFTの製作向けに使用されるサファイアなどの透明な半導体基板に見られる有効な波長帯域（例えば可視帯）および角度範囲（例えばコーン照明の ± 12 度）にわたって、スペクトルおよび角度の線形リターダンスの変化を解消することが示された。特に、2段補償システムは改善されたコントラストをもた

らすことが示されたが、その一方で、前述の計算は、ＬＣマイクロディスプレイおよび／またはトリム・リターダのＬＣ材料の複屈折の性質からの影響に対処していない。

【００３５】

オン状態で効率のよい特別な導波性をもたらすために、ＴＮ層１２の遅軸は、一般に偏光子２０Ａまたは検光子２０Ｂの透過軸に対して４５度に整列される。図１３Ａを参照すると、偏光子および検光子の透過軸が、それぞれＸ軸およびＹ軸と平行なときに可能なＴＮ遅軸の配向は、配向Ｚ、Ｑ、ＰおよびＭによって表される。上記で論じられたように、サファイア・バック板１４のＣ軸は、検光子２０Ｂの透過軸に対して、一般に平行または垂直に整列し、Ｎ、Ｅ、Ｓ、およびＷの配向をもたらす。したがって、サファイアのＣ軸の配向とＬＣの遅軸の配向には１６通りの可能な組合せがある。これらの組合せの各コントラスト比はモデル化されており、表１に示されている。驚くべきことに、むき出しのＴＮパネルのコントラスト約１２０：１から１３０：１と、あまり最適でないパラメータの場合約８０：１から９０：１の間の差があることが判明した。

【００３６】

【表１】

サファイアのＣ軸	TN LC のツイスト角スパンおよび SA 角			
	45° (Z)	135° (Q)	225° (P)	315° (M)
0° (E)	121.4	85.3	97.0	91.0
90° (N)	102.0	97.1	106.9	129.9
180° (W)	122.8	91.4	104.6	89.6
270° (S)	115.9	120.8	82.7	97.0

表１ むき出しパネルの計算されたコントラスト

【００３７】

特に、計算結果は、サファイア板のＣ軸が９０度（すなわち配向Ｎ）で配向され、またＴＮパネルの遅軸が第４象限を実質的に２分する（すなわち－４５度で配向され、これは配向Ｍに相当する）とき、±１４度にわたるコーン照明の最高のパネル・コントラストが得られることを示す。実際、サファイア板のＣ軸が北へ（すなわち９０度に）配向されるとき、パネルの第１象限、第２象限、第３象限および第４象限に遅軸を有するむき出しのＴＮパネルについて計算されたコントラスト比は、それぞれ約１０２：１、９７：１、１０７：１および１３０：１である。換言すれば、第４象限に遅軸を有するＬＣパネルを設けると、２２％から３４％の間のより優れたコントラストをもたらす。

【００３８】

むき出しパネルのコントラストを計算するのに使用されるモデルでは、サファイア基板１４は、５７６．６マイクロメートルの厚さおよび面法線から５７．６度のＣ軸傾斜を有する高次の負のＯプレートとして構成される。ＬＣ層１２は、特別な導波路としてオン状態（例えばドライブされていない状態）で断熱導波路をもたらすように設計された通常白色のＴＮ９０セルの一部であると想定される。印加電圧がない状態で、入射光の偏光はＬＣ分子のツイスト角で回転するが、ＬＣ分子は、透過光が入射光の偏光に対して直交偏光を有して発せられるように円滑な９０度のツイストを受ける。オフ状態すなわち暗状態では、印加電圧によって発生された静電界は、入射光の偏光がＬＣセルを通過する際に変化しないように、ＬＣディレクタをセルの透過軸に沿って整列させる（例えばホメオトロピック配向）。オフ状態では全セルがホメオトロピック配向を有すると説明されることが多いが、セルの出口および入口の部分に近いＬＣディレクタは整列層を固定する力によって影響を受けるので、一般に、本当にホメオトロピックであるのはＬＣセルの内部または中央部分だけであることに留意されたい。モデルでは、暗状態におけるＴＮモードＬＣ層のこの固有の複屈折は、緑色帯域（例えば波長５５０ｎｍ）における約１０ｎｍの残留面内リターダンスに相当すると想定される。

【 0 0 3 9 】

前述のように、トリム・リターダ 4 0 は、暗状態における T N モード L C の残留面内リターダンスを補償するのに使用されることが多い。理論上、トリム・リターダ 4 0 は、暗状態で T N 9 0 パネルが示すのと同じの面内リターダンスを有するべきである。したがって、トリム・リターダの遅軸 4 0 A が、L C パネルの遅軸 1 2 A に対して直交する方位角の配向で構成されると、正味の効果は、入ってくる偏光に対して相対遅延がゼロになることである。しかし、實際上、製造公差（例えばデバイスの厚さなど）および／または運用上の変動（例えば温度、機械的応力など）によるリターダンスの変化に応じるために、トリム・リターダ 4 0 が L C パネルより高い面内リターダンスを有するように設計する方が一般的である。当業者に既知のように、面内リターダンスにおけるこの非整合により、公称の交差軸構成に対してトリム・リターダの遅軸 4 0 A をオフセットさせる必要がある。換言すれば、トリム・リターダは、その方位角配向を、図 1 3 B に示された交差軸構成（例えばこの構成では φ_r が約 4 5 度に等しい）から遠ざけて、4 つの配向（例えば Q 1 P、Q 1 S、Q 3 P、Q 3 S）のうちの 1 つへ回転させることにより「合わせられる」。

10

【 0 0 4 0 】

図 1 4 ~ 図 1 8 を参照すると、L C パネル層 1 2 からの複屈折の効果およびトリム・リターダ 4 0 を含むコントラスト補償がモデル化されている。このモデルでは、サファイア基板 1 4 は、5 7 6 . 6 マイクロメートルの厚さおよび面法線から 5 7 . 6 度の C 軸傾斜を有する高次の負の O プレートとして構成される。石英補償板 3 2 は、サファイア基板 1 4 のスペクトルおよび角度の変化の線形リターダンスと実質的に整合するように選択された厚さおよび C 軸傾斜を有する高次の正の O プレートとして構成されるものと想定される。一般に、用語「高次」は、0 より大きい次数、より一般的には約 2 より大きい次数を説明するのに用いられる。O プレート・リターダ 1 4、3 2 のそれぞれの遅軸は X Z 面と平行に整列する（すなわち、サファイア板 1 4 および石英板 3 2 の両方の C 軸が約 0 度の方位角 φ_c で整列する）。L C 層 1 2 は、特別な導波路としてオン状態（例えばドライブされていない状態）で断熱導波路をもたらすように設計された通常白色の T N 9 0 セルの一部であると想定される。T N 9 0 セルの整列層は、L C 分子が光入力側から光出力側へ逆時計回り（C C W）に続くように配置される。T N モード L C 層の遅軸 1 2 A は、T N 9 0 パネルの第 4 象限をほぼ 2 分するように整列される。暗状態における T N モード L C 層の固有の複屈折は、緑色帯域（例えば波長 5 5 0 n m）における約 1 0 n m の残留面内リターダンスに相当すると想定される。トリム・リターダ 4 0 は、約 1 5 n m の面内リターダンスをもたらす単一層の A プレートまたは O プレートであると想定される。トリム・リターダの遅軸 4 0 A は、X 軸から約 2 5 度 C C W、または Y 軸から約 2 5 度時計回り（C W）であるように合わせられる。より詳細には、トリム・リターダの遅軸 4 0 A は、図 1 3 C に示された 4 つの配向のうちの 1 つ（すなわち Q 1 P、Q 1 S、Q 3 P、Q 3 S であり、ここで φ_r は 2 5 度に等しい）で整列する。

20

30

【 0 0 4 1 】

図 1 5 を参照すると、単一層の A プレート構成および単一層の O プレート構成の両方に関して、4 つの配向（すなわち Q 1 P、Q 1 S、Q 3 P、Q 3 S）のそれぞれについて、青色帯域、緑色帯域、および赤色帯域の計算されたコントラスト比が示されている。より詳細には、図 1 5 は、トリム・リターダの遅軸が、P 軸に近い第 1 象限（Q 1 P）にあるとき、S 軸に近い第 1 象限（Q 1 S）にあるとき、P 軸に近い第 3 象限（Q 3 P）にあるとき、および S 軸に近い第 3 象限（Q 3 S）にあるときの計算されたコントラスト比を示す。それぞれの場合で、計算されたコントラスト比は、A プレートの場合の方が O プレートの場合より高い。さらに、P 配向（すなわち Q 3 P および Q 1 P）が、わずかにより優れた性能を示した。特に、S 軸に近い 2 つの解（すなわち Q 1 S と Q 3 S）に関する A プレートの解は同等であり、P 軸に近い 2 つの解（すなわち Q 1 P と Q 3 P）は同等である。

40

【 0 0 4 2 】

図 1 6 を参照すると、A プレート・トリム・リターダおよび石英板に関して計算された

50

スペクトルのリターダンス分散（例えば左側のグラフ）および角度のリターダンス分散（例えば右側のグラフ）が、TNモードセル（すなわちTN層およびサファイア・パネルとしてモデル化されたもの）に関して計算されたものと実質的に整合され得ることが示されている。角度リターダンス分散のグラフは、赤色帯域、緑色帯域および青色帯域の中心波長での、C軸面に沿ったリターダンス曲線あてはめおよびC軸面に直交するリターダンス曲線あてはめを示す。

【0043】

図17は、図16で示された適合パラメータが石英板32およびAプレート40で補償されたサファイア・パネル14およびTNモードLC層12をモデル化するのに用いられたとき、それぞれ青色帯域（例えば波長460nm）、緑色帯域（例えば波長550nm）および赤色帯域（例えば波長620nm）における計算されたコントラストを示す。図の右側のコンタ図を参照すると、コントラスト比は、青色の波長に関して約340:1、緑色の波長に関して約510:1、また赤色の波長に関して約670:1であると計算される。パネル基板FOVおよびTN-LC層の面内リターダンスは、十分に補償されているように見えるが、第4象限の辺りに一団となったいくらかの光漏れがある。この光漏れは、循環リターダンスの補償不足およびTN-LC面外リターダンスの補償不足から生じると考えられる。

【0044】

上記の計算では、石英板/Aプレートのパラメータは、計算された波長および角度のリターダンス・スペクトルと整合するように適合された。図18では、青色帯域（例えば波長460nm）、緑色帯域（例えば波長550nm）および赤色帯域（例えば波長620nm）の計算されたコントラストは、それぞれ石英板/Aプレートのパラメータが実験による波長および角度のスペクトルと整合するように適合されたときに得られたものである。右側を参照すると、実際のパネルのFOVデータは、青色帯域で約180:1、緑色帯域で約300:1、また赤色帯域で約430:1の計算された2つの状態のコントラストを示した。特に、第4象限で最大の漏れが生じる。

【0045】

前述のように、高次の石英補償板が、サファイア基板を有するTNモードLCマイクロディスプレイのコントラスト比をかなり改善することが示された。例えば、前述の公称設計では、サファイア板/石英板の組合せの場合、数万対1のコントラストが達成される。TN-LC層の複屈折の効果がサファイア板の複屈折の効果とともに含まれるとき、またトリム・リターダの複屈折の効果が石英補償板の複屈折の効果とともに含まれるとき、緑色帯域で、計算されたむき出しパネルのコントラスト（例えば90:1）は約500:1に向上した。

【0046】

実際、透過性LCマイクロディスプレイでバック板として使用される高次のOプレートの複屈折より大きい符号が反対の複屈折を有する高次のOプレート・リターダを含むリターダ補償器を設けると、他の補償方式と比較して改善されたコントラスト補償をもたらすことが判明した。例えば、サファイア基板を含む投影型ディスプレイのコントラスト比を改善するための手法の1つに、交差軸構成で、同一の厚さおよび傾斜角を有するもう1つのサファイア板を設けるものがある。この機構はサパール板をもたらし、したがって正味ゼロのリターダンスを示すはずであるが、コントラスト比の改善は、サファイア板に対して平行に高次波長板を整列させたものほど効率的でないことが判明した。図19Aは、交差軸サファイア板/サファイア板のコンタ図を示し、図19Bは、平行軸サファイア板/石英板のコンタ図を示している。交差軸構成の対角線のリターダンス帯域は、オフ軸コントラストを明らかに低下させる。特に、交差軸構成に関して計算されたコントラスト比は、わずか130:1であったが、平行軸構成に関して計算されたコントラスト比は33,600:1であった。

【0047】

高次の石英補償板が、サファイア・バック板（例えば、ピコプロジェクトを含む）を有

10

20

30

40

50

する通常白色のＴＮモードＬＣマイクロディスプレイを利用する投影システムにおけるコントラストをかなり改善すると示されているが、高次の補償板は、他の材料で製作されてよく、かつ／または他のＬＣモードに基づく投影システムで使用されてよく、かつ／またはサファイア以外の材料から製作された高次リターダンスの半導体基板を内蔵すると予見される。さらに、高次の補償板は、システム・コントラストをさらに改善するために他のリターダ補償器（例えばトリム・リターダ）とともに使用されると予見される。

【００４８】

本発明の一実施形態によれば、高次リターダンス補償板３２は、トリム・リターダ４０に結合される。例えば、一実施形態では、トリム・リターダは、Ａプレート、Ｃプレート、および／またはＯプレートとして構成される高次リターダンス補償板上に堆積された１つまたは複数の複屈折または構造複屈折の薄膜コーティングを含む。高次リターダンス補償板がトリム・リターダを支持するために使用されるとき、プロジェクタ・システムは、たった１つの補償器組立体で高コントラストを有利に達成する。したがって、１つだけの補償器を回転させて合わせる必要があり、このように整列が簡単になる。さらに、２つの反射防止膜だけが使用される（すなわちリターダ補償器組立体の外面のそれぞれの上に１つ）。

【００４９】

本発明の別の実施形態では、高次リターダンス補償板３２およびトリム・リターダ４０は、どちらもスタンド・アロンのリターダ要素として使用される。この実施形態では、高次リターダンス補償板３２は高次半導体基板のＣ軸傾斜面を整合させるように合わせられ、一方トリム・リターダ４０はＬＣ層の暗状態リターダンスに対する補償を最適化するように合わせられる。この場合、４つの反射防止膜が用いられる。

【００５０】

図２０を参照すると、３つの透過性ＴＮモードＬＣパネルおよび３つのリターダ補償器を含むマイクロディスプレイ投影システム向けの光学エンジンが示されている。光サブシステム１００は、入力前段偏光子１０１ａ、１０１ｂ、１０１ｃ、リターダ補償器１０３ａ、１０３ｂ、１０３ｃ、ＴＮモードＬＣパネル１０４ａ、１０４ｂ、１０４ｃおよび出口のクリーンアップ偏光子１０５ａ、１０５ｂ、１０５ｃを含む。光サブシステム１００の中心要素はＸキューブ１１０であり、ここで、３本の個別の光ビーム１２０ａ、１２０ｂ、１２０ｃは収束光ビーム１３０として集められて発せられ、これが画面（図示せず）上に投影される。３本の個別の光ビームは、ＲＧＢチャネル・データを与える。一般に、緑色チャネルは第１の光ビーム１２０ａに相当することが多く、その結果、これはＸキューブの透過されたポートへ向けられる。各色のチャネルに関して、ＬＣパネル１０４ａ／１０４ｂ／１０４ｃは、１組の交差する偏光子の間に（例えば、それぞれ入力前段偏光子１０１ａ／１０１ｂ／１０１ｃと出口クリーンアップ偏光子１０５ａ／１０５ｂ／１０５ｃの間に）配置される。示された概略図では、入力前段偏光子１０１ａ、１０１ｂ、１０１ｃの透過軸は水平に（描画する面と平行に）整列しており、一方、出口クリーンアップ偏光子１０５ａ、１０５ｂ、１０５ｃの透過軸は垂直に整列している。緑色または「１つの」チャネルに相当する光サブシステム１００のアームは、一般に２分の１波長板（ＨＷＰ）１０６を含み、変調済の垂直に偏光された光を水平に偏光された光へ変換し、この光はＸキューブの直角三角形の斜辺に対してＰ偏光された光として現われ、Ｘキューブを通して伝送される。あるいは、ＬＣパネル１０４ａがオン状態で入ってくる垂直の偏光を水平の偏光へ回転させる場合、ＨＷＰ １０６は、光サブシステム１００のもう１つのアームに配置されてよい。リターダ補償器１０３ａ、１０３ｂ、１０３ｃのそれぞれが、例示の目的で、それぞれ前段偏光子１０１ａ、１０１ｂ、１０１ｃとＬＣパネル１０４ａ／１０４ｂ／１０４ｃの間に配置して示されていることに留意されたい。他の実施形態では、リターダ補償器１０３ａ、１０３ｂ、１０３ｃは、それぞれＬＣパネル１０４ａ／１０４ｂ／１０４ｃと検光子１０５ａ、１０５ｂ、１０５ｃの間に配置される。それぞれの場合で、各リターダ補償器１０３ａ、１０３ｂ、１０３ｃは、ＴＦＴ製造に使用されるＬＣマイクロディスプレイにおける透明な半導体基板の面内リターダンスおよび面外リターダ

スを補償するように選択された厚さおよびC軸の整列を有する高次のOプレートを含む。光路長の差として表された面内リターダンスは、2つの面内屈折率に光学要素の物理的厚さを掛けたものの間の差を指す。面外リターダンスは、光学要素の厚さ方向(z方向)に沿った屈折率に光学要素の物理的厚さを掛けたものと、1つの面内屈折率(または面内屈折率の平均)に光学要素の物理的厚さを掛けたものの差を指す。コーン・バンドルにおける垂直入射光線には面内リターダンスだけが見えるが、斜光線(すなわち、垂直ではないが基準のS面およびP面に沿うもの)およびスキュー光線(すなわち垂直でなく基準のS面およびP面から離れて入射するもの)を含む軸外光線は、面外リターダンスおよび面内リターダンスの両方を経験する。前述の高次リターダンス補償器は、高次リターダンスの透明な半導体基板の面内リターダンスおよび面外リターダンスの両方の効率的な補償をもたらす。LC層の面内リターダンス、面外リターダンス、および循環リターダンスを補償する全機能搭載型トリム・リターダと組み合わせて、コントラスト比はかなり改善される。一実施形態では、高次リターダンスのサファイア石英板である透明な半導体基板は、LCパネルの、光が入射する側104a/104b/104cまたはLCパネルの光が出る側104a/104b/104cに配置されることになる。

10

【0051】

もちろん、上記の実施形態は単なる実施例として提供されている。当業者には、本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、様々な変更形態、代替構成、および/または等価物が用いられるはずであることが理解されよう。したがって、本発明の範囲は、もっぱら添付の特許請求の範囲によって限定されるように意図されている。

20

【符号の説明】

【0052】

- 10 透過性LCパネル
- 12 LC層
- 12A LCパネルの遅軸
- 14 サファイア基板
- 16 カバー板
- 18A、18B 電極
- 19A、19B 整列層
- 20A、20B 偏光子
- 30 リターダ補償器
- 32 複屈折板
- 40 トリム・リターダ
- 40A トリム・リターダの遅軸
- 100 光サブシステム
- 101a、101b、101c 入力前段偏光子
- 103a、103b、103c リターダ補償器
- 104a、104b、104c TNモードLCパネル
- 105a、105b、105c 出口のクリーンアップ偏光子
- 106 2分の1波長板
- 110 Xキューブ
- 120a、120b、120c 光ビーム
- 130 収束光ビーム

30

40

【図 1 A】

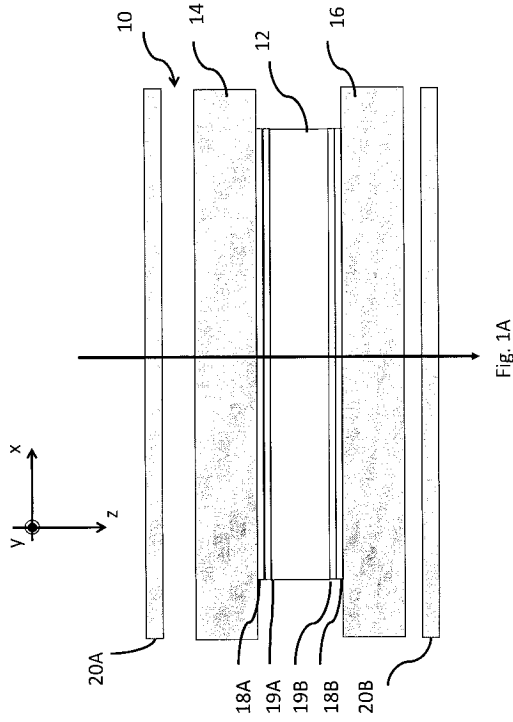


Fig. 1A

【図 1 B】

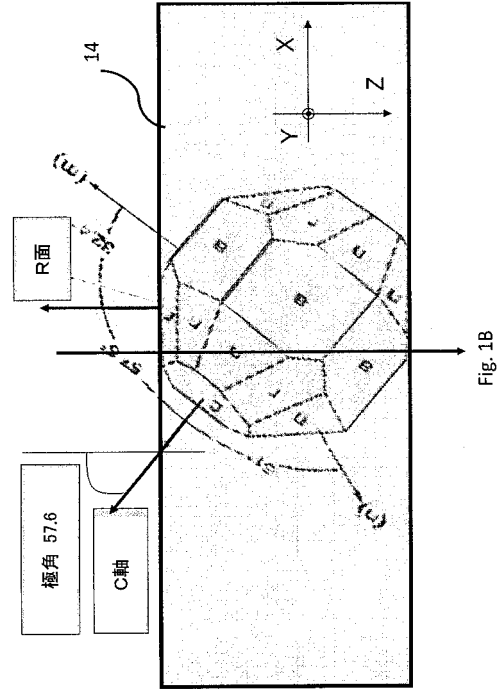


Fig. 1B

【図 2】

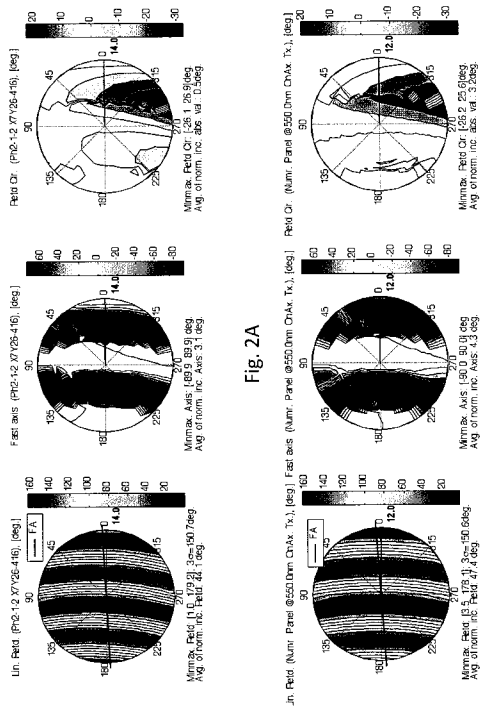


Fig. 2A

Fig. 2B

【図 3】

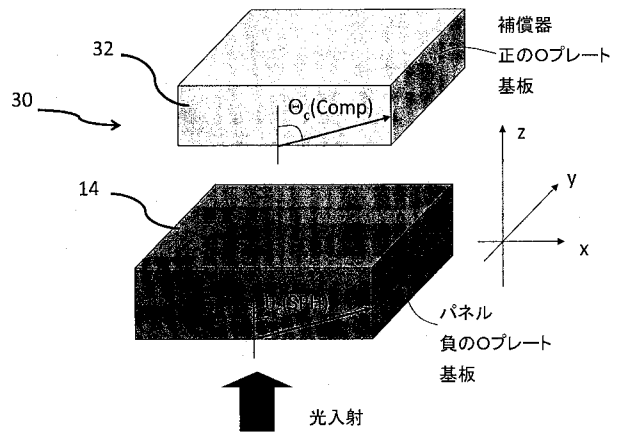


Fig. 3

【 図 4 】

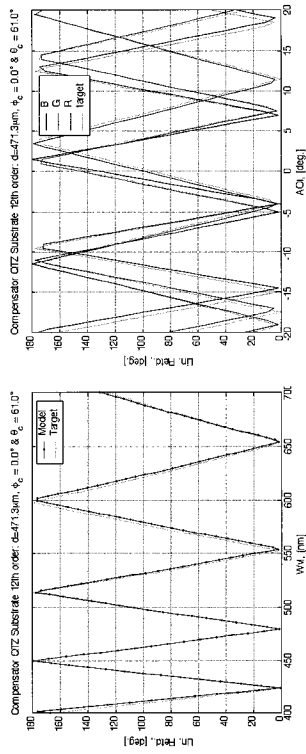


Fig. 4

【 図 5 】

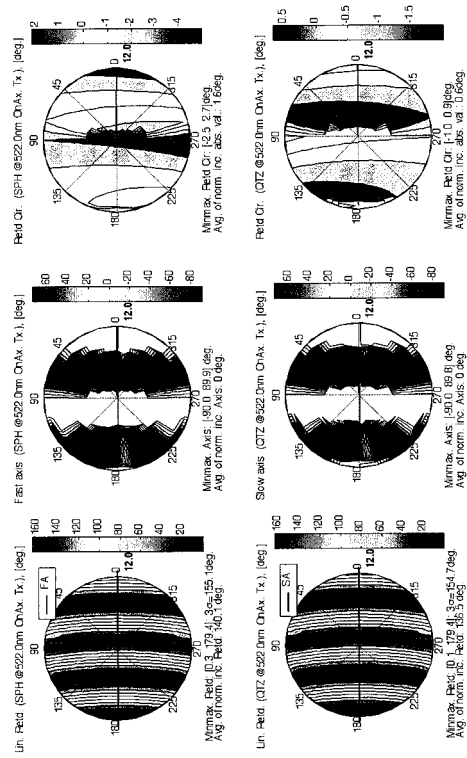


Fig. 5

【 図 6 】

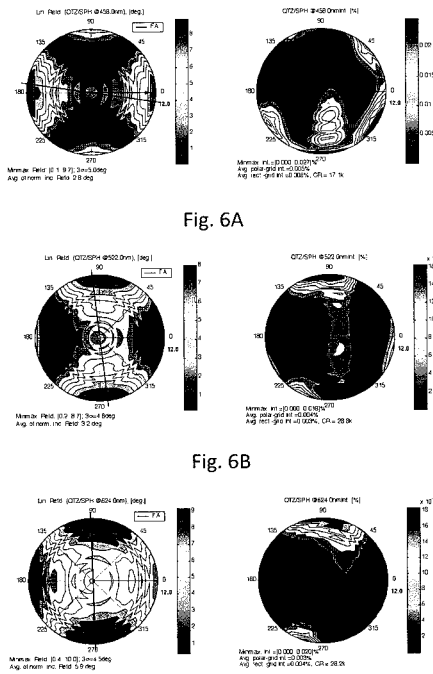


Fig. 6A

Fig. 6B

Fig. 6C

【 図 7 】

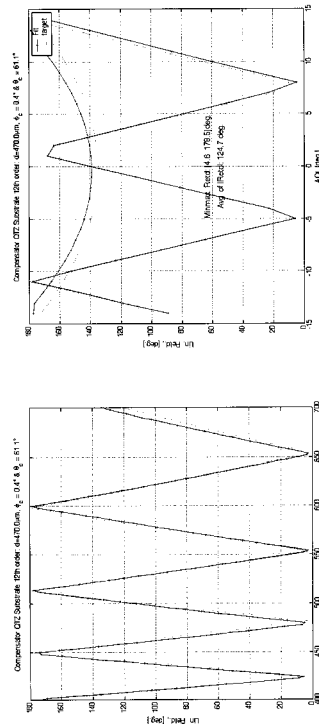


Fig. 7

【 図 8 】

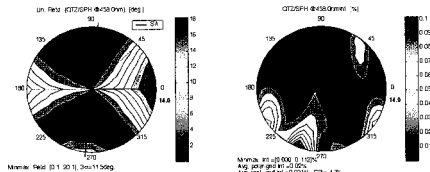


Fig. 8A

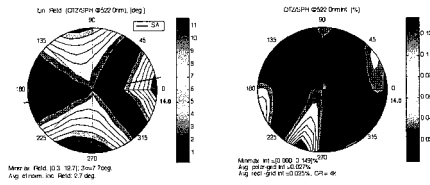


Fig. 8B

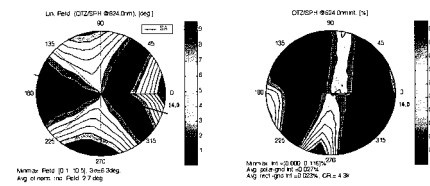


Fig. 8C

【 図 10 】

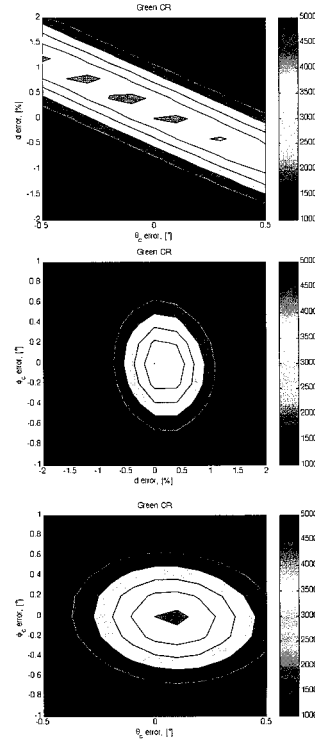


Fig. 10

【 図 9 】

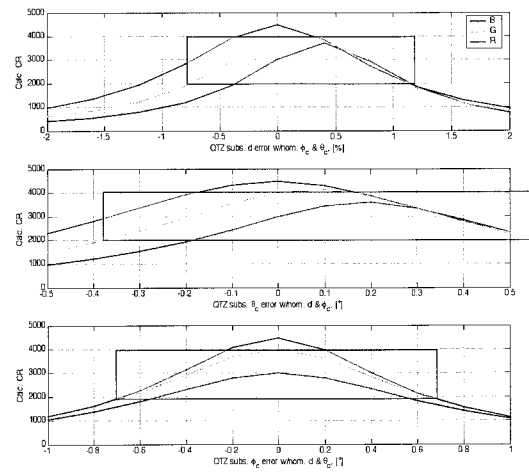


Fig. 9

【 図 11 】

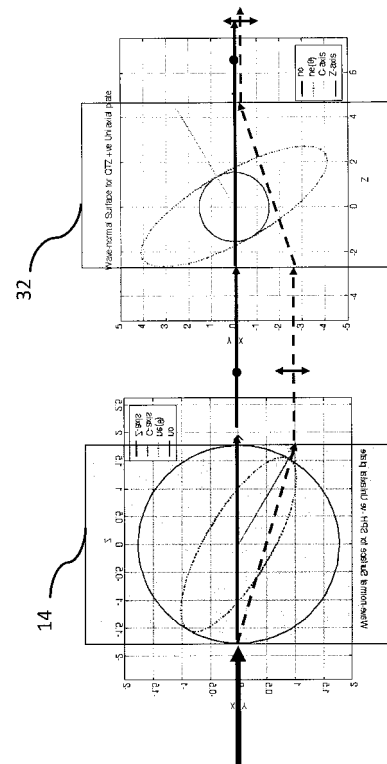


Fig. 11

【図 15】

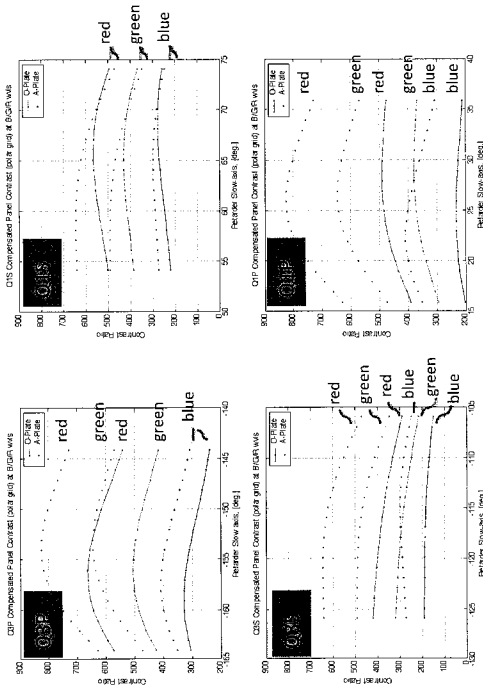


Fig. 15

【図 16】

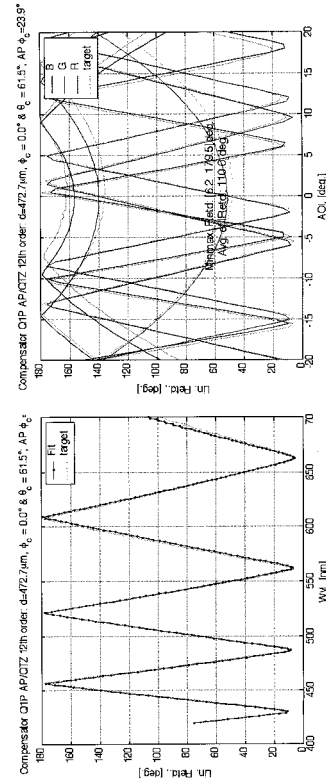


Fig. 16

【図 17】

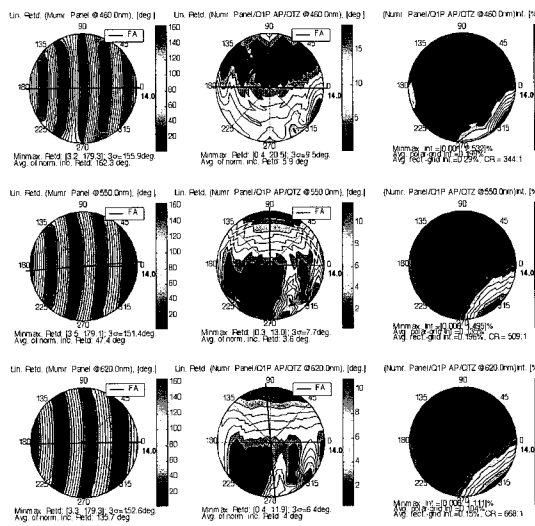


Fig. 17

【図 18】

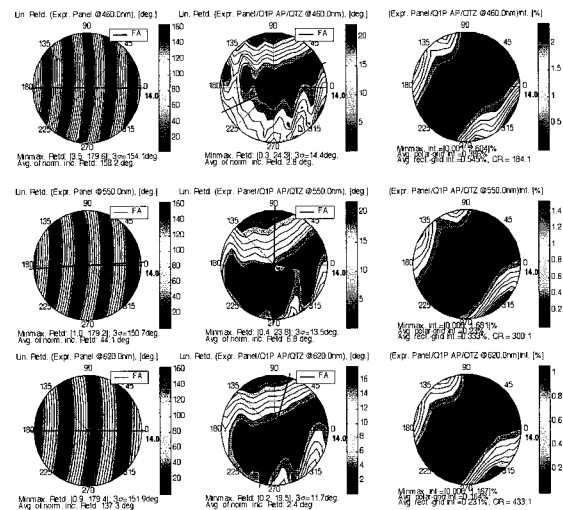


Fig. 18

【図 19 A】

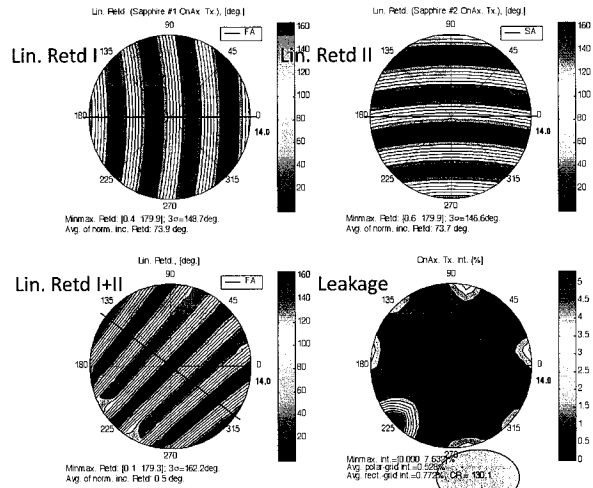


Fig. 19A

【図 19 B】

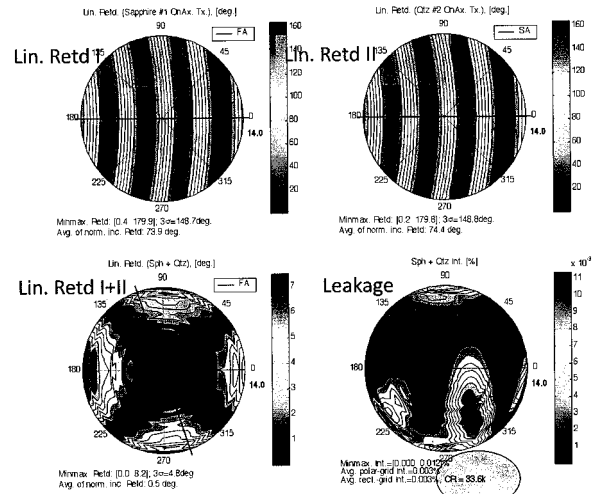


Fig. 19B

【図 20】

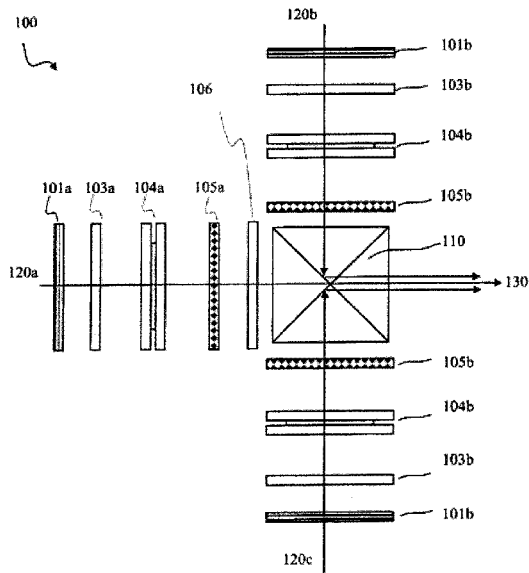


Fig. 20

フロントページの続き

(74)代理人 100098110

弁理士 村山 みどり

(72)発明者 キム レオング タン

シンガポール共和国 チョアチューカン アヴェニュー4 ブロック441 #08-429

(72)発明者 ナーダ エイ . オブライエン

アメリカ合衆国 95409 カリフォルニア州 サンタローザ セイリングホークアヴェニュー
5867

Fターム(参考) 2H191 FA22X FA22Z FA30X FA30Z FB13 FD12 GA01 GA19 HA06 HA11

HA15 LA22 PA03 PA06 PA09

【 外国語明細書 】

CONTRAST COMPENSATION OF MICRODISPLAY PANELS INCLUDING A HIGH ORDER WAVEPLATE

TECHNICAL FIELD

[01] The present application relates generally to contrast compensation, and in particular, to contrast compensation of liquid crystal microdisplay panels including a high order waveplate.

BACKGROUND OF THE INVENTION

[02] Liquid crystal (LC) microdisplays are widely found in projections systems, as for example used in business presentations and home entertainment (e.g., large screen televisions). In general, these relatively small displays (e.g., typically measuring less than 1.5" diagonally) are coupled with one or more optical lenses that enlarge the projected image to a suitable display size. Conventionally, LC microdisplays have been based on one of two types of technologies, namely a reflective-type microdisplay (e.g., liquid crystal on silicon (LCoS)) or a transmissive-type microdisplay.

[03] A typical transmissive LC microdisplay includes a layer of liquid crystal material (e.g., vertical-aligned (VA)-mode, in-plane switching (IPS)-mode, planar aligned (PA)-mode, or, more commonly, 90 degree twisted nematic (TN)-mode) sandwiched between front and back transparent plates. The back plate includes a patterned electrode layer, while the front plate includes a common electrode layer, each of which is typically formed from a transparent material such as indium tin oxide (ITO). When 90 degree TN-mode LC is used, the front and back plates typically include alignment layers that are aligned perpendicular to each other such that the LC molecules are arranged in a helical structure or twist. In the absence of an applied voltage (i.e., off-state), the twisted arrangement rotates the polarization of incident linearly polarized light by about 180 degrees. In the presence of a sufficiently large applied voltage (i.e., on-state), the LC molecules begin to untwist such that the polarization of the linearly polarized incident light is not rotated. This LC cell is typically disposed between a polarizer and analyzer having parallel transmission axes (i.e., normally-black) or, more commonly, perpendicular transmission axes (i.e., normally-white).

[04] In commercially available systems, transmissive LC microdisplays typically use an active matrix system, wherein a matrix of thin-film transistors (TFTs) controls the voltage applied by the electrodes. More specifically, each TFT functions as a switching element that controls the orientation of LC in each display pixel. Conventionally, the active TFT layer has been formed by depositing silicon (e.g., amorphous, poly, or crystalline) on a glass back plate. More recently, the advantages of using sapphire as the substrate for the silicon layer have been realized. For example, sapphire exhibits optical transparency in the visible band and is a semiconductor that promotes the growth of single crystal silicon, thus reducing manufacturing complexity and costs. In addition, sapphire is desirable for TFT fabrication because it has high electron and hole mobilities, which enables high speed logic switching. Furthermore, it has higher thermal conductivity than the conventional glass substrates used in high-temperature polysilicon TFTs, thus providing efficient heat dissipation in high brightness illumination systems.

[05] Unfortunately, the use of sapphire as a substrate for LC TFT fabrication has been found to have a negative effect on the panel contrast ratio of LC microdisplays. For example, in US Pat. No. 7,480,017, Fisher et al. teach that the use of sapphire in LC microdisplays de-polarizes the light that passes through the liquid crystal material, reducing the on/off contrast ratio. Fisher et al. teach improving the contrast ratio by incorporating a wire grid or other polarizer on the active silicon back plate to correct for the depolarization of light passing through the sapphire substrate. While the internal polarizer is stated to significantly improve the contrast of a transparent microdisplay built on sapphire substrate, the improvement is achieved at the expense of lost light intensity (e.g., the internal polarizer filters out a portion of the light transmitted through the sapphire substrate having elliptical polarization).

SUMMARY OF THE INVENTION

[06] The instant invention relates to a contrast compensator, which, for example, can be used to improve the panel contrast of liquid crystal (LC) microdisplays having a sapphire plate. The contrast compensator includes a high order waveplate, which has a thickness and symmetry selected to compensate for variations in spectral and angular linear retardance, across the useful wavelength band (e.g., visible) and angle range (e.g., ± 12 degrees of cone illumination) found in transparent semiconductor substrates used for LC TFT (e.g., sapphire).

[07] In accordance with one aspect of the invention there is provided a liquid crystal microdisplay comprising: a liquid crystal microdisplay panel including a first substrate, a second substrate, and a liquid crystal layer disposed between the first and second substrates, the first substrate including a first multiple-order waveplate configured as an O-plate and supporting a thin film transistor layer; and, a retarder compensator for compensating for spectral and angular linear retardance dispersions of the first substrate, the retarder compensator including a second multiple-order waveplate configured as an O-plate, the second multiple-order waveplate having a birefringence opposite in sign to a birefringence of the first multiple-order waveplate.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[08] Further features and advantages of the present invention will become apparent from the following detailed description, taken in combination with the appended drawings, in which:

[09] FIG. 1A is a cross-section of a transmissive LC panel;

[10] FIG. 1B illustrates the configuration of the high-order sapphire substrate shown in FIG. 1A;

[11] FIG. 2A shows a linear retardance map for an experimental TN-mode LC panel having a high-order sapphire substrate;

[12] FIG. 2B shows a linear retardance map for a numerical TN-mode LC panel having a high-order sapphire substrate;

[13] FIG. 3 is a schematic diagram of a retarder compensator in accordance with one embodiment of the instant invention in tandem with a high-order sapphire substrate;

[14] FIG. 4 shows the spectral and angular linear retardance curve fitting results of a quartz retarder compensator and a high-order sapphire substrate;

[15] FIG. 5 shows a qualitative comparison of the linear retardance maps calculated for the quartz retarder compensator and the high-order sapphire substrate using modeled retardance data for both the quartz retarder compensator and the high order sapphire substrate;

[16] FIG. 6A shows the net retardance and conosopic leakage calculated for the quartz compensator cascaded with the high-order sapphire substrate in the blue band using modeled retardance data for both the quartz retarder compensator and the high order sapphire substrate;

[17] FIG. 6B shows the net retardance and conosopic leakage calculated for the quartz compensator cascaded with the high-order sapphire substrate in the green band using modeled retardance data for both the quartz retarder compensator and the high order sapphire substrate;

[18] FIG. 6C shows the net retardance and conosopic leakage calculated for the quartz compensator cascaded with the high-order sapphire substrate in the red band using modeled retardance data for both the quartz retarder compensator and the high order sapphire substrate;

[19] FIG. 7 shows a qualitative comparison of the linear retardance maps for the quartz retarder compensator and the high-order sapphire substrate using experimental retardance data for the high order sapphire substrate;

[20] FIG. 8A shows the net retardance and conosopic leakage for the quartz compensator cascaded with the high-order sapphire substrate in the blue band using experimental retardance data for the high order sapphire substrate;

[21] FIG. 8B shows the net retardance and conosopic leakage for the quartz compensator cascaded with the high-order sapphire substrate in the green band using experimental retardance data for the high order sapphire substrate;

[22] FIG. 8C shows the net retardance and conosopic leakage for the quartz compensator cascaded with the high-order sapphire substrate in the red band using experimental retardance data for the high order sapphire substrate;

[23] FIG. 9 shows plots of calculated contrast ratio for a range of quartz layer thickness, C-axis polar angles, and C-axis azimuthal angles;

[24] FIG. 10 shows plots of azimuthal angle, polar angle, and thickness tolerances for the cascaded arrangement;

[25] FIG. 11 is a schematic diagram illustrating beam walk-off in thick birefringent crystal plates;

[26] FIG. 12 shows plots of walk-off versus C-axis tilt for high-order sapphire and quartz plates;

[27] FIG. 13A is a schematic diagram illustrating the sixteen possible combinations of sapphire C-axis and TN LC slow axis orientations;

[28] FIG. 13B is a schematic diagram illustrating the slow axis orientation of the trim retarder when the retardances are matched;

[29] FIG. 13C is a schematic diagram illustrating possible slow axis orientations of the trim retarder when the retardances are mismatched;

[30] FIG. 14 is a schematic diagram of a retarder compensator in accordance with one embodiment of the instant invention in tandem with a trim retarder, the TN-mode LC layer, and the high-order sapphire substrate;

[31] FIG. 15 shows plots of contrast ratio versus retarder slow axis for the possible slow axis orientations of the trim retarder, when the trim retarder is a single layer A-plate;

[32] FIG. 16 shows a qualitative comparison of the linear retardance maps calculated for the A-plate on quartz compensator and the TN/sapphire panel using modeled retardance data;

[33] FIG. 17 shows the net retardance and conoscopic leakage calculated for the A-plate on quartz compensator and the TN/sapphire panel in the blue, green, and red bands using modeled retardance data;

[34] FIG. 18 shows the net retardance and conoscopic leakage calculated for the A-plate on quartz compensator and the TN/sapphire panel in the blue, green, and red bands using experimental retardance data for the TN/sapphire panel;

[35] FIG. 19 shows a comparison of the linear retardance maps and conoscopic leakage maps for two sapphire plates in a cross-axes configuration and for sapphire/quartz plates in a parallel configuration; and,

[36] FIG. 20 shows a schematic diagram of a 3-panel transmissive LC microdisplay projection system light engine.

[37] It will be noted that throughout the appended drawings, like features are identified by like reference numerals.

DETAILED DESCRIPTION

[38] Panel contrast ratio, which refers generally to the ratio of the light intensity in the bright state to the light intensity of in the dark state, is an important characteristic of LC microdisplays. In conventional 90 degree TN transmissive-type microdisplays, the panel contrast ratio is significantly reduced when the panel is viewed obliquely. The variation in contrast ratio due to viewing angle is typically referred to as the viewing angle characteristic.

[39] In order to improve the panel contrast ratio and/or viewing angle characteristics of transmissive LC microdisplays a retarder compensator is often used. The retarder compensator is typically placed between the polarizer and the LC cell and/or between the analyzer and the LC cell. Optionally, the retarder compensator will include multiple layers of birefringent materials each having different physical thicknesses, optical axis orientation with respect to the liquid crystal and polarizer angles, or sign of birefringence. In fact, in order to provide for efficient contrast enhancement retarder compensators often include one or more A-plates (e.g., a uniaxial birefringent element having its optic axis parallel to the surface of the element), C-plates (e.g., a uniaxial birefringent element having its optic axis normal to the surface of the element), and/or O-plates (e.g., a uniaxial birefringent element having its optic axis at an oblique angle to the surface of the element), each of which may be positive or negative. For example, a retarder compensator used in a VA-mode LC microdisplay may include a tilted O-plate having in-plane retardance and out-of-plane retardance, the latter of which is used for field-of-view (FOV) enhancement, while a retarder compensator used in a TN-mode LC microdisplay may exhibit in-plane retardance, out-of-plane retardance, and circular retardance.

[40] In each case, the retarder compensator is used to compensate for a relatively low-magnitude retardance (e.g., often less than about 50 nm in-plane retardance), which for example, is exhibited by the LC layer in the dark state. Accordingly, retarder compensators are often referred to as trim retarder compensators, or simply trim retarders. Originally, trim retarders were fabricated as compensating films. For example, trim retarders have been fabricated out of stretched organic foil, such as Fuji's Wide View (WV) filmTM, which consists of a discotic layer on a triacetate cellulose (TAC) substrate. Other compensating films are discussed, for example, in T. Bachelors et al, "Novel Photo-aligned LC -Polymer Wide-View Film for TN Displays", Eurodisplay 2002, 10-3, p 183, J. Chen et al, "Wide Viewing Angle Photoaligned Plastic Films for TN-LCDs", SID 99, 10-4, p and H. Mori et al "Novel Optical Compensation Method Based upon a Discotic Optical Compensation Film for Wide Viewing Angle LCDs", SID 03, 32.3, p. 1058. More recently, the advantages of using form-birefringent thin-film coatings in trim retarders has been realized (e.g., see US Pat. No. 7,170,574 and US Pat. Appl. No. US 20070070276, both of which are hereby incorporated by reference).

[41] Providing the trim retardance with a compensating film and/or thin film coating allows the trim retarder to be fabricated as a true zero-order waveplate. In general, a zero-order waveplate provides only the required phase delay (i.e., a phase delay of only 0.25 waves is provided if the retarder is a zero-order quarter-wave plate). In contrast, a multiple-order waveplate provides a relative phase delay that is larger than the required phase delay by some characteristic value (e.g., an integer multiple of 2π larger for a full waveplate or an odd integer multiple of $\pi/2$ larger for a quarter waveplate). In principle, a multiple-order wave retarder should behave similarly to a zero-order wave retarder. For example, a tenth-order quarter-wave plate (e.g., 5.25 waves) should behave similarly to a zero-order quarter-wave plate (e.g., 0.25 waves), for a given wavelength. In practice, however, multiple-order waveplates have not been typically used as trim retarders due to their high dispersion and temperature dependence. Notably the high dispersion, which results in not all wavelength channels within the visible band being compensated adequately, is particularly problematic in transmissive LCD projectors, which usually include more than LC microdisplay (e.g., one for each of the blue 460 nm, green 550 nm, and red 620 nm, bands).

[42] Unfortunately, while prior art trim retarders have been shown to improve the contrast of conventional transmissive TN-mode LC microdisplay panels from a few hundred to one to substantially higher, over a relatively wide bandwidth, they have not been successful at significantly improving the contrast ratio and/or viewing angle characteristics when the LC microdisplay includes a sapphire semiconductor substrate.

[43] A sapphire semiconductor substrate is a birefringent crystal plate that is transparent in the visible band. Even though the birefringence of a sapphire plate is relative low (e.g., approximately 0.008 at 550nm), the thickness required to provide sufficient support in LC cell sandwiching (e.g., a physical thickness between 0.4mm to 1mm), will yield several microns of retardance.

[44] In addition, since the R-plane of sapphire is often selected for TFT fabrication, sapphire semiconductor substrates are often configured as O-plates. The R-plane is a crystal cut that yields the optic axis or C-axis alignment of the sapphire at about 57.6 degrees with respect to plate normal. This O-plate configuration means there is a large retardance slope as a function of angle of incidence at viewing planes close to the C-axis tilt plane. The high order retardances gives rise to alternating even and odd retardance order where the effective retardance at normal incidence varies from 0 to π several times within the visible band. These retardance variations degrade the achievable panel contrast, and in particular degrade the viewing angle characteristics. For example, degradation will occur through a cross-polarizer setup when the corresponding linear retarder axis is not aligned parallel/perpendicular to the polarizers.

[45] Referring to FIG. 1A there is shown a cross-section of a transmissive LC panel incorporating a sapphire back plate. The transmissive LC panel 10 includes a LC layer 12 sandwiched between the sapphire back plate 14 and a cover plate 16. The LC layer 12 is formed from a LC material such as 90 degree twisted nematic (TN)-mode, vertical-aligned (VA)-mode, in-plane switching (IPS)-mode, or planar aligned (PA)-mode LC. The sapphire back plate 14 is a birefringent crystal plate, which supports an active matrix pixel addressing circuit (not shown) used to control the orientation of the LC director in the LC layer 12. The cover plate 16 is a glass plate. Optionally, depending on the LC-mode, the transmissive LC panel 10 will also include one or more electrodes 18A, 18B and one or more alignment layers 19A, 19B. In general, the

transmissive LC panel 10 will be disposed between two polarizers 20A, 20B. When the two polarizers 20A, 20B are oriented such that their transmission axes are perpendicular, then the first polarizer 20A is typically referred to as the polarizer while the second polarizer 20B is referred to as the analyzer. Referring to FIG. 1B, the C-axis of the sapphire substrate 14 is oriented at a polar angle of 57.6 degrees (i.e., its C-axis tilt is at 57.6 degrees from the substrate normal), while the R-plane is coincident with the surface of the plate. The C-axis of the sapphire back plate 14 is typically aligned parallel or perpendicular to the transmission axis of the polarizer 20A.

[46] Experimental and calculated FOV retardance data for a LC panel 10 similar to that shown in FIG. 1A is shown in FIGS. 2A and 2B, respectively. In each case, the LC layer included TN-mode LC exhibiting about 10 nm in-plane retardance in the dark state, while the sapphire back plate was about 600 microns thick. In the model used to produce the calculated data, the ordinary index, n_o , and the extraordinary index, n_e , of sapphire were assumed to be 1.7706 and 1.7650, respectively, giving a birefringence, Δn , equal to -0.0081 at 550 nm. Full dispersion over the visible band was utilized. The thickness of the sapphire back plate was 576.6 microns. At this thickness, the sapphire back plate is a 12th order waveplate. In other words, the sapphire back plate is a high-order negative O-plate. The net retardance is 45 degrees in the 12th order at 530 nm (2205 degrees unwrapped). Referring to both the experimental and calculated results, it is clear that the retardance wrapped to the 0th order changes rapidly with polar/azimuthal angles of incidence. Experimentally, the average linear retardance at normal incidence was 44.1 degrees. In the calculations, the average linear retardance at normal incidence was 47.4 degrees.

[47] In accordance with one embodiment of the instant invention, a retarder compensator including a counter birefringent substrate, which is also a high-order waveplate, is used to reduce the wavelength and angle dispersions of retardance introduced by the sapphire substrate, and thus improve the contrast ratio and viewing angle characteristics of the transmissive TN-mode LC microdisplay including the sapphire back plate.

[48] Referring to FIG. 3, the counter birefringent plate 32, which is formed from a material having an opposite sign of birefringence relative to the sapphire substrate 14 (i.e., sapphire exhibits a negative birefringence so the birefringent plate 32 will have a positive birefringence),

also has an oblique C-axis alignment versus the substrate normal (i.e., the birefringent plate 32 is a positive O-plate). The birefringent plate 32 is fabricated such that its C-axis orientation and its retardation order substantially complement the spectral and angular linear retardance profiles of the sapphire substrate 14. Accordingly, when the retarder compensator 30 is aligned such that the C-axis of the birefringent plate 32 is aligned along the same tilt plane as the C-axis of the sapphire plate 14, the two substrates function in tandem to significantly reduce the net retardance at all wavelength and angle points (e.g., ideally to zero).

[49] One example of a material that is suitable for fabricating the birefringent plate 32 is quartz. A quartz crystal plate has a positive birefringence and has approximately the same birefringence dispersion as a sapphire crystal plate. Accordingly, with appropriate choices of C-axis alignment and quartz substrate thickness, the compensating plate 32 and the sapphire substrate 14 will function in co-operation to provide for approximately equal and opposite sign retardance at every ray angle and every wavelength of operation. As a result, the system contrast is not negatively affected by the large retardance of the sapphire substrate 14.

[50] In order to determine suitable quartz layer parameters (e.g., thickness and azimuthal and polar angles of the C-axis) the wavelength and angle retardance spectra of a nominal quartz compensating plate were fitted to match that of a nominal sapphire plate. As described above, the ordinary index, n_o , and the extraordinary index, n_e , of the sapphire plate were assumed to be 1.7706 and 1.7650, respectively, giving a birefringence, Δn , equal to -0.0081 at 550 nm. The C-axis tilt of the nominal sapphire plate was 57.6 degrees from the substrate normal. The thickness of the sapphire plate was 576.6 microns. For the quartz compensating plate, the ordinary index, n_o , and the extraordinary index, n_e , were assumed to be 1.5461 and 1.5554, respectively, giving a birefringence, Δn , equal to +0.0092 at 550 nm. In each case, full dispersion over the visible band was utilized.

[51] Referring to FIG. 4, it is confirmed that the spectral retardance dispersion (e.g., left-hand plot) and angular retardance dispersion (e.g., right-hand plot) of the quartz and sapphire plates can be simultaneously matched with suitable quartz parameters. For example, numerical results indicate that if the quartz compensating plate has a C-axis tilt that is about 61.1 degrees from the substrate normal and a physical thickness of about 472.0 microns, then the spectral and/or

angular retardance dispersions will be substantially matched. Notably, at this thickness, the quartz compensating plate is also a 12th order waveplate.

[52] Qualitative comparisons of the 576.6 micron thick sapphire substrate having its C-axis oriented 57.6 degrees from the substrate normal and the 472.0 micron thick quartz compensating plate having its C-axis tilt 61.1 degrees from the plate normal also revealed an excellent conoscopic matching. For example, as illustrated in FIG. 5, the calculated linear retardance (left), slow-axis (center), and circular retardance (right) conoscopic plots for the sapphire (top) and quartz (bottom) plates are shown. Each conoscopic plot shows the retardance component from 0 to 12 degree polar angle of incidence over 360 degrees of azimuthal planes, for incident light at 522 nm.

[53] FIGS. 6A, 6B, 6C illustrate the calculated contrast in the blue (e.g., 458 nm), green (e.g., 522nm), and red (e.g., 624 nm) bands, respectively, when the C-axis azimuthal angle of the sapphire substrate is parallel to the C-axis azimuthal angle of the quartz compensating plate. More specifically, the left-hand plots show the net linear retardance of the sapphire substrate/quartz compensating plate combination (i.e., disregarding other retardation contributions such as from the LC layer and/or the corresponding trim retarder compensator), whereas the right-hand plots show the ideal crossed polarizer raw contrast (e.g., which is not weighted by the system baseline). Referring to the left-hand plots, the average normal incidence retardance is 2.8 degrees for the blue band, 3.2 degrees for the green band, and 5.9 degrees for the red band, indicating that the birefringence compensation is nearly complete. Referring to the right-hand plots, the calculated two-stage contrast ranges from about 17k in the blue band, 29k in the green band, and 28k in the red band. In other words, the modeled single-pass contrast of a two-stage system comprising of a sapphire panel substrate and a quartz compensating plate achieves greater than 20,000:1 in the green and red bands.

[54] Referring to FIG. 7, the quartz compensating plate parameters were fitted to match experimental retardance data of a sapphire substrate 14. The experimental data was collected with the C-axis plane of the sapphire plate oriented parallel to the X-axis. The experimental spectrum data is shown with the dashed line. Evidently, the spectral retardance dispersion (e.g., left-hand plot) and angular retardance dispersion (e.g., right-hand plot) calculated for quartz and

experimentally obtained for sapphire can be also substantially matched. Referring to FIGS. 8A, 8B, and 8C, it is shown that calculated contrast in the blue (e.g., 458nm), green (e.g., 522nm), and red (e.g., 624nm) bands, is 4.7k, 4.0k, and 4.3k, respectively. These calculated cone average contrasts from the combination of experimental/model results are significantly lower than the model only results, which produced a calculated cone average contrast of 17k, 29k, and 28k for the blue, green, and red bands, respectively. The reduced cone contrast may arise from limitations in the numerical model of the sapphire substrate and/or errors in retardance metrology, which does not allow for all ray angles to be perfectly matched to the quartz substrate data.

[55] In an actual projector system, light leakage may arise from non-ideal cross-polarizers, LC/trim retarder match up, and/or sapphire substrate/quartz compensating plate match-up. Nevertheless, this large compensated sapphire substrate contrast increases the upper contrast limits of what can be achieved when the LC layer is complemented with its own retarder (e.g., a trim retarder), either as a stand alone trim retarder assembly or as part of the retarder compensator 30.

[56] In order to determine the thickness (i.e., d) and C-axis orientation (i.e., polar angle, θ_c , and azimuthal angle, ϕ_c) tolerance of the compensating plate 32 the contrast ratio in the blue (e.g., 458nm), green (e.g., 522nm), and red (e.g., 624nm) bands, were calculated for a nominal quartz plate. Referring to FIG. 9, the top graph shows the calculated contrast ratio for a quartz plate where the thickness is varied between 469.0 ± 2 microns, the middle graph shows the calculated contrast ratio for a quartz plate where the C-axis tilt or polar angle θ_c is varied between 61.0 ± 0.5 , and the bottom graph shows the contrast ratio calculated when the quartz plate is rotated within the plane of the plate by ± 1 degree from the ideal alignment wherein the C-axis of the quartz plate and the sapphire plate are in the same tilt plane. Assuming a baseline contrast of 5k:1, the calculated contrast ratio results indicate that in order to maintain more than 50% of the peak contrast in the green band, the thickness tolerance of the quartz plate should be $\pm 1\%$, while the tilt axis tolerance should be $\pm 0.5\%$. With regard to the azimuthal angle tolerance, the calculated contrast ratios indicate that the quartz c-axis tilt plane should be within ± 0.7 degrees of the sapphire tilt plane.

[57] Referring to the contour plots illustrated in FIG. 10, the relationship between thickness, d , polar angle, θ_c , and azimuthal angle, ϕ_c , errors is shown. The azimuthal angle tolerances shown in the bottom two plots translate into typical Bell-shape contrast roll-off. The relationship between polar angle and substrate thickness errors illustrated in the top plot confirm that the tilt angle and thickness of the compensating quartz plate are dependent on each other in order to provide the required in-plane retardance, and thus improved contrast ratio. In particular, a larger tilt angle will generally be associated with a thinner plate to meet the in-plane retardance requirements, while a smaller tilt angle will yield a thicker plate.

[58] In the calculations discussed above, a quartz O-plate, diced such that the C-axis is about 61 degrees versus the plate normal, provides substantially matched spectral and angular retardation variations to the sapphire substrate used in TFT fabrication, when the quartz plate is about 475 microns thick and the sapphire substrate is about 585 microns thick with a tilt angle of about 58 degrees. At this thickness, the quartz compensating plate is also a 12th order retarder yielding about 2,200 degrees of unwrapped linear retardance at $\lambda=550\text{nm}$. The C-axis plane of the quartz compensating plate is nominally aligned to the C-axis plane of the sapphire substrate.

[59] In addition to providing substantially matched spectral and angular retardance variations, this two-stage parallel-aligned arrangement also provides image blur compensation. For a TN-mode LC including a sapphire back plate, the substrate-mode extraordinary-wave walk-off from the o-wave direction is about 2.5 microns for a 585 micron thick substrate. Accordingly, depending on the position of the sapphire substrate 14 in the LC cell 10 relative to the incident light, this walk-off may produce two sets of images that are transmitted to the analyzer 20B. Any incomplete extinction of the analyzer of one set of images will result in crosstalk (e.g., image blur). Positioning the quartz compensating plate 32 such that its C-axis is aligned within the same tilt plane as the C-axis of the sapphire substrate 14 allows the quartz compensating plate to provide walkoff in the opposite direction. FIG. 11 illustrates the walk-off through the relatively thick crystals plates (i.e., where the sapphire substrate 14 has a nominal thickness of 585 microns and the quartz compensating plate has a nominal thickness of 475 microns). Referring to FIG. 12, there is a larger deviation for the quartz plate than the sapphire substrate. However, since the quartz plate is thinner than the sapphire substrate the amount of lateral translation is almost equal for both plates. As a result, the two images are brought together again and the sensitivity to

complete extinction of one set of images by the analyser is reduced. Advantageously, the blur compensation makes the contrast ratio less sensitive to whether the microdisplay is illuminated from the sapphire side or from the glass substrate side.

[60] The two-stage compensating system including the sapphire panel 14 and the quartz compensating plate 32 has been modeled and shown to provide an increased contrast ratio. More specifically, the high order quartz waveplate has been shown to remove the variations of spectra and angular linear retardance across the useful wavelength band (e.g., visible) and angle range (e.g., ± 12 degrees of cone illumination) found in transparent semiconductor substrates such as sapphire, used for fabricating TFTs in transmissive LC microdisplays. Notably, while the two-stage compensating system has been shown to provide improved contrast, the above-described calculations have not addressed the effects from the birefringent nature of the LC material in the LC microdisplay and/or a trim retarder.

[61] In order to provide efficient extraordinary-waveguiding in the on-state, the slow axis of the TN layer 12 is typically aligned at a 45 degrees to the transmission axis of the polarizer 20A or analyzer 20B. Referring to FIG. 13A, the possible TN slow axis orientations when the transmission axes of the polarizer and analyser are parallel to the X and Y-axes, respectively, are represented by orientations Z, Q, P, and M. As discussed above, the C-axis of the sapphire back plate 14 is typically aligned parallel or perpendicular to the transmission axis of the analyzer 20B, yielding orientations N, E, S, and W. Accordingly, there are 16 possible combinations of sapphire C-axis orientations and LC slow axis orientations. The contrast ratio of each of these combinations has been modeled and is shown in Table 1. Surprisingly, it has been found that there is a difference of between about 120 to 130:1 bare TN panel contrast to about 80 to 90:1 for less optimal parameters.

SPH C-axis	TN LC Twist Angle Span and SA Angle			
	45° (Z)	135° (Q)	225° (P)	315° (M)

0° (E)	121.4	85.3	97.0	91.0
90° (N)	102.0	97.1	106.9	129.9
180° (W)	122.8	91.4	104.6	89.6
270° (S)	115.9	120.8	82.7	97.0

Table 1: Calculated Bare Panel Contrast

[62] Notably, the numerical results indicate that the highest panel contrast over ± 14 degree cone illumination is obtained when the C-axis of the sapphire plate is oriented at 90 degrees (i.e., orientation N) and when the TN panel slow axis substantially bisects the fourth quadrant (i.e., is oriented at -45 degrees, which corresponds to orientation M). In fact, when the C-axis of the sapphire plate is oriented north (i.e., at 90 degrees), the calculated contrast ratio for the bare TN panel having its slow axis in the first, second, third and fourth quadrants of the panel are about 102, 97, 107, and 130:1, respectively. In other words, providing a LC panel having its slow axis in the fourth quadrant results in between 22% to 34% better contrast.

[63] In the model used to calculate the bare panel contrast, the sapphire substrate 14 is configured as a high order negative O-plate having a 576.6 micron thickness and having a C-axis tilt 57.6 degrees from the surface normal. The LC-layer 12 is assumed to be part of a normally-white TN90 cell designed to provide for adiabatic waveguiding in the on-state (e.g., undriven) as extraordinary-waveguiding. In the absence of an applied voltage, the polarization of the incident light rotates with the twist angle of the LC molecules, which undergo a smooth 90 degree twist, such that the transmitted light is emitted with a polarization orthogonal to the polarization of the incident light. In the off- or dark-state, the electrostatic field generated by the applied voltage aligns the LC directors along the transmission axis of the cell (e.g., homeotropic alignment) such that the polarization of the incident light does not change upon passing through the LC cell. Note that while the entire cell is often described as having homeotropic alignment in the off-state, it is generally only the interior or mid-section of the LC cell that is truly homeotropic, since the LC

directors close to the exit and entrance sections of the cell are influenced by the anchoring forces of the alignment layers. In the model, this intrinsic birefringence of the TN-mode LC layer in the dark state is assumed to correspond to about 10 nm of residual in-plane retardance in the green band (e.g., at 550 nm).

[64] As described above, the trim retarder 40 is often used to compensate for the residual in-plane retardance of the TN-mode LC in the dark state. In theory, the trim retarder 40 should have the same in-plane retardance exhibited by the TN90 panel in the dark state. Accordingly, when the slow axis 40A of the trim retarder is configured at orthogonal azimuthal orientation to the slow axis 12A of the LC panel then the net effect is zero relative delay for the incoming polarization. In practice, however, it is more common to design the trim retarder 40 to have a higher in-plane retardance than the LC panel in order to accommodate for retardance variations due to manufacturing tolerances (e.g., in device thickness, etc.) and/or operational drifts (e.g., temperature, mechanical stress, etc.). As is known to those skilled in the art, this mismatch in in-plane retardance requires offsetting of the slow axis 40A of the trim retarder relative to the nominal crossed axes configuration. In other words, the trim retarder is 'clocked-in' by rotating its azimuth orientation away from the crossed-axes configuration illustrated in FIG. 13B (e.g., where ϕ_r is equal to about 45 degrees) to one of four orientations (e.g., Q1P, Q1S, Q3P, Q3S).

[65] Referring to FIGS. 14-18, contrast compensation including birefringent effects from the LC panel layer 12 and a trim retarder 40 have been modeled. In the model, the sapphire substrate 14 is configured as a high order negative O-plate having a 576.6 micron thickness and having a C-axis tilt 57.6 degrees from the surface normal. The quartz compensating plate 32 is assumed to be configured as a high order positive O-plate having a thickness and C-axis tilt selected to substantially match the linear retardance spectral and angular variations of the sapphire substrate 14. In general, the term high order is used to describe orders greater than 0, and more typically greater than about 2. The slow axis of each of the O-plate retarders 14, 32 is aligned parallel to the XZ plane (i.e., the C-axis of both the sapphire plate 14 and the quartz plate 32 are aligned with an azimuthal angle, ϕ_c , of about 0 degrees). The LC-layer 12 is assumed to be part of a normally-white TN90 cell designed to provide for adiabatic waveguiding in the on-state (e.g., undriven) as extraordinary-waveguiding. The alignment layers of the TN90 cell are arranged such that the LC molecules follow a counter clockwise (CCW) from the light input side to the

light output side. The slow axis 12A of the TN-mode LC layer is aligned such that it approximately bisects the 4th quadrant of the TN90 panel. The intrinsic birefringence of the TN-mode LC layer in the dark state is assumed to correspond to about 10 nm of residual in-plane retardance in the green band (e.g., at 550 nm). The trim retarder 40 is assumed to be a single layer A-plate or O-plate that provides about 15 nm of in-plane retardance. The slow axis 40A of the trim retarder is clocked such that it is approximately 25 degrees CCW from the X-axis or 25 degrees clockwise (CW) from the Y-axis. More specifically, the slow axis 40A of the trim retarder is aligned in one of the four orientations illustrated in FIG. 13C (i.e., Q1P, Q1S, Q3P, Q3S, where ϕ_r is equal to 25 degrees).

[66] Referring to FIG. 15, the calculated contrast ratios in the blue, green, and red bands and for both single layer A-plate and single layer O-plate configurations are shown for each of the four orientations (i.e., Q1P, Q1S, Q3P, Q3S). More specifically, FIG. 15 illustrates the calculated contrast ratios when the slow axis of the trim retarder is in the 1st quadrant close to the P-axis (Q1P), is in the 1st quadrant close to the S-axis (Q1S), in the 3rd quadrant close to the P-axis (Q3P), and in the 3rd quadrant close to the S-axis (Q3S). In each case, the calculated contrast ratios are higher for the A-plate than for the O-plate. In addition, the P-orientations (i.e., Q3P and Q1P) gave slightly better performance. Notably, the A-plate solutions for the two solutions close to the S-axis (i.e., Q1S and Q3S) are equivalent, while the two solutions close to the P-axis (i.e., Q1P and Q3P) are equivalent.

[67] Referring to FIG. 16, it is shown that the spectral retardance dispersion (e.g., left-hand plot) and angular retardance dispersion (e.g., right-hand plot) calculated for the A-plate trim retarder and the quartz plate can be substantially matched to that calculated for the TN-mode cell (i.e., modeled as the TN-layer and the sapphire panel). The angular retardance dispersion plot shows the retardance curve fitting along and orthogonal to the C-axis plane at the red, green, and blue band center wavelengths.

[68] FIG. 17 illustrates the calculated contrast in the blue (e.g., 460 nm), green (e.g., 550 nm), and red (e.g., 620 nm) bands, respectively, when the fitted parameters shown in FIG. 16 are used to model the sapphire panel 14 and TN-mode LC layer 12 compensated with the quartz plate 32 and A-plate 40. Referring to the contour plots on the right-hand side of the figure, the contrast

ratios are calculated to be about 340, 510 and 670:1, for the blue, green, and red wavelengths, respectively. While the panel substrate FOV and TN LC layer in-plane retardance appear to be well compensated, there is some light leakage clustered around the 4th quadrant. This light leakage is believed to arise from the lack of circular retardance compensation and the lack of TN-LC out-of-plane retardance compensation.

[69] In the above calculations the quartz/A-plate parameters were fitted to match the calculated wavelength and angle retardance spectra. In FIG. 18, the calculated contrast in the blue (e.g., 460 nm), green (e.g., 550 nm), and red (e.g., 620 nm) bands, respectively, is obtained when the quartz/A-plate parameters were fitted to match experimental wavelength and angle spectra. Referring to the right-hand side, the actual panel FOV data gave a calculated 2-state contrast of about 180, 300, and 430:1 in the blue, green, and red bands, respectively. Notably, the largest leakage occurs in the fourth quadrant.

[70] As described above, a high order quartz compensating plate has been shown to significantly improve the contrast ratio of a TN-mode LC microdisplay having a sapphire substrate. For example, in the nominal design described above, tens of thousand to one contrast is achieved for sapphire plate/quartz plate combination. When the birefringent effects of the TN LC layer are included with the birefringent effects of the sapphire plate and when the birefringent effects of a trim retarder are included with the birefringent effects of the quartz compensating plate, the calculated bare panel contrast (e.g., 90:1) was improved to about 500:1 in the green band.

[71] In fact, providing a retarder compensator including a high-order O-plate retarder having a higher but oppositely signed birefringence than the high-order O-plate used as a back plate in a transmissive LC microdisplay has been found to provide improved contrast compensation over other compensation schemes. For example, one approach to improving the contrast ratio of the projection display including sapphire substrate is to provide another sapphire plate having the same thickness and tilt angle, in a crossed-axes configuration. While this arrangement results in a Savart Plate, and thus should exhibit a net retardance of zero, the contrast ratio improvement has been found to not be as efficient as the high order waveplate aligned parallel to the sapphire plate. FIG. 19A shows the contour plots of the cross-axes sapphire/sapphire plates, while FIG. 19B

shows contour plots of the parallel-axes sapphire/quartz plates. Clearly, the diagonal retardance bands of the cross-axes configuration reduces the off-axis contrast. Notably, the calculated contrast ratio for the cross-axes configuration was only 130:1, whereas the calculated contrast ratio for the parallel-axes configuration was 33,600:1.

[72] While a high-order quartz compensating plate has been shown to significantly improve contrast in a projections system utilizing a normally-white TN-mode LC microdisplay having a sapphire back plate (e.g., including pico-projectors), it is envisioned that the high-order compensating plate may be fabricated with other materials and/or may be used in projection systems based on other LC modes and/or incorporating a high-order retardance semiconductor substrate fabricated from a material other than sapphire. In addition, it is envisioned that the high-order compensating plate will be used with other retarder compensators (e.g., trim retarders) in order to further improve the system contrast.

[73] According to one embodiment of the instant invention, the high-order retardance compensating plate 32 is coupled to the trim retarder 40. For example, in one embodiment the trim retarder includes one or more birefringent or form-birefringent thin-film coatings deposited on the high-order retardance compensating plate, which are configured as A-plates, C-plates, and/or O-plates. When the high-order retardance compensating plate is used to support a trim retarder, the projector system advantageously achieves a high contrast with only one compensator assembly. Accordingly, only one compensator needs to be rotationally clocked, thus simplifying alignment. In addition, only two antireflection coatings are used (i.e., one on each of the external surfaces of the retarder compensator assembly).

[74] In another embodiment of the instant invention, both the high-order retardance compensating plate 32 and the trim retarder 40 are used as stand-alone retarder elements. In this embodiment, the high-order retardance compensating plate 32 is clocked to match the C-axis tilt plane of the high-order semiconductor substrate, while the trim retarder 40 is clocked to optimize compensation for the LC layer dark-state retardance. In this case, four anti-reflection coatings are used.

[75] Referring to FIG. 20, there is shown an optical engine for a microdisplay projection system including three transmissive TN-mode LC panels and three retarder compensators. The

optical sub-system 100 includes input pre-polarizers 101a, 101b, 101c, retarder compensators 103a, 103b, 103c, TN-mode LC panels 104a, 104b, 104c, and exit clean-up polarizers 105a, 105b, 105c. The center element of the optical sub-system 100 is an X-cube 110, where three separate light beams 120a, 120b, 120c are aggregated and emitted as a converged light beam 130, which is projected onto a screen (not shown). The three separate light beams provide the RGB channel data. In general, the green channel often corresponds to the first light beam 120a so that it is directed at the transmitted port of the X-cube. For each color channel, the LC panel 104a/104b/104c is positioned between a set of crossed polarizers (e.g., between an input pre-polarizer 101a/101b/101c and an exit clean-up polarizer 105a/105b/105c, respectively). In the schematic shown, the input pre-polarizers 101a, 101b, 101c have their transmission axes aligned horizontal (parallel to plane of drawing), while the exit clean-up polarizers 105a, 105b, 105c have their transmission axes aligned vertical. The arm of the optical sub-system 100 corresponding to the green or 'a' channel typically includes a half-waveplate (HWP) 106 to convert the modulated vertically polarized light to horizontally polarized light so that it appears as P-polarized light with respect to the X-cube hypotenuse and is transmitted through the X-cube. Alternatively, if the LC panel 104a rotates the incoming vertical polarization to horizontal polarization in the on-state, the HWP 106 may be positioned in another arm of the optical sub-system 100. Note that each of the retarder compensators 103a, 103b, 103c is shown to be disposed between the pre-polarizers 101a, 101b, 101c and the LC panels 104a/104b/104c, respectively, for exemplary purposes. In other embodiments, the retarder compensators 103a, 103b, 103c are disposed between the LC panels 104a/104b/104c and the analyzers 105a, 105b, 105c, respectively. In each case, each the retarder compensator 103a, 103b, 103c includes a high order O-plate having a thickness and C-axis alignment selected to compensate for the in-plane and out-of-plane retardance of the transparent semiconductor substrate in the LC microdisplay used for TFT fabrication. In-plane retardance, expressed as optical path length difference, refers to the difference between two orthogonal in-plane indices of refraction times the physical thickness of the optical element. Out-of-plane retardance refers to the difference of the index of refraction along the thickness direction (z direction) of the optical element and one in-plane index of refraction (or an average of in-plane indices of refraction), times the physical thickness of the optical element. Normal incidence rays in a cone bundle see only in-plane retardance, whereas off-axis rays including oblique rays (i.e. non-normal but along the principal S- and P-

planes) and skew rays (i.e. non-normal and incident away from the principal S- and P-planes) experience both out-of-plane retardance and in-plane retardance. The high-order retardance compensator described above provides efficient compensation of both in-plane and out-of-plane retardance of the high-order retardance transparent semiconductor substrate. In combination with a full-function trim retarder that compensates for the in-plane, out-of-plane, and circular retardance of the LC layer, the contrast ratio is significantly improved. The transparent semiconductor substrate, which in one embodiment is a high-order retardance sapphire crystal plate, will be disposed on the light incident side of the LC panels 104a/104b/104c or the light exiting side of the LC panels 104a/104b/104c.

[76] Of course, the above embodiments have been provided as examples only. It will be appreciated by those of ordinary skill in the art that various modifications, alternate configurations, and/or equivalents will be employed without departing from the spirit and scope of the invention. Accordingly, the scope of the invention is therefore intended to be limited solely by the scope of the appended claims.

CLAIMS:**1. A liquid crystal microdisplay comprising:**

a liquid crystal microdisplay panel including a first substrate, a second substrate, and a liquid crystal layer disposed between the first and second substrates, the first substrate including a first multiple-order waveplate configured as an O-plate and supporting a thin film transistor layer; and,

a retarder compensator for compensating for spectral and angular linear retardance dispersions of the first substrate, the retarder compensator including a second multiple-order waveplate configured as an O-plate, the second multiple-order waveplate having a birefringence opposite in sign to a birefringence of the first multiple-order waveplate.

2. A liquid crystal microdisplay according to claim 1, wherein a thickness and C-axis tilt angle of the second multiple-order waveplate are selected such that spectral and angular linear retardance dispersions of the second multiple-order waveplate substantially counteract the spectral and angular dispersions of the first multiple-order waveplate.

3. A liquid crystal microdisplay according to claim 2, wherein the C-axis of the first multiple-order waveplate is oriented in a same tilt plane as a C-axis of the second multiple-order waveplate.

4. A liquid crystal microdisplay according to claim 3, wherein the liquid crystal microdisplay panel is disposed between a polarizer and an analyzer, and wherein the tilt plane is substantially parallel to one of a transmission axis of the polarizer and a transmission axis of the analyzer.

5. A liquid crystal microdisplay according to claim 1, wherein the C-axis of the first multiple-order waveplate is oriented in a same tilt plane as a C-axis of the second multiple-order waveplate.

6. A liquid crystal microdisplay according to any of claims 1 to 5, wherein the first multiple-order waveplate comprises a high-order sapphire waveplate.
7. A liquid crystal microdisplay according to any of claims 1 to 5, wherein the second multiple-order waveplate comprises a high-order quartz waveplate.
8. A liquid crystal microdisplay according to claim 6, wherein the second multiple-order waveplate comprises a high-order quartz waveplate.
9. A liquid crystal microdisplay according to claim 8, wherein the first multiple-order waveplate is at least 200 microns thick, and the second multiple-order waveplate is at least 200 microns thick.
10. A liquid crystal microdisplay according to any of claims 1 to 5, wherein the retarder compensator comprises a trim retarder coupled to the second multiple-order waveplate.
11. A liquid crystal microdisplay according to claim 10, wherein the trim retarder comprises at least one of a thin film birefringent layer and a thin-film form-birefringent layer deposited on the second multiple-order waveplate.
12. A liquid crystal microdisplay according to claim 11, wherein the thin film birefringent layer and the thin-film form-birefringent layer are configured as one of an A-plate, a C-plate, and an O-plate.
13. A liquid crystal microdisplay according to claim 11, wherein the thin film birefringent layer and the thin-film form-birefringent layer are configured as single layer A-plates.
14. A liquid crystal microdisplay according to claim 8, wherein the retarder compensator comprises a trim retarder coupled to the second multiple-order waveplate.

ABSTRACT

A contrast compensator for improving the panel contrast of liquid crystal (LC) microdisplays having a high-order waveplate configured as an O-plate and supporting a thin film transistor layer is provided. The contrast compensator includes a counter high-order waveplate configured as an O-plate, which has a birefringence opposite in sign to a birefringence of the thin film transistor substrate.

Representative Drawing: Fig.3

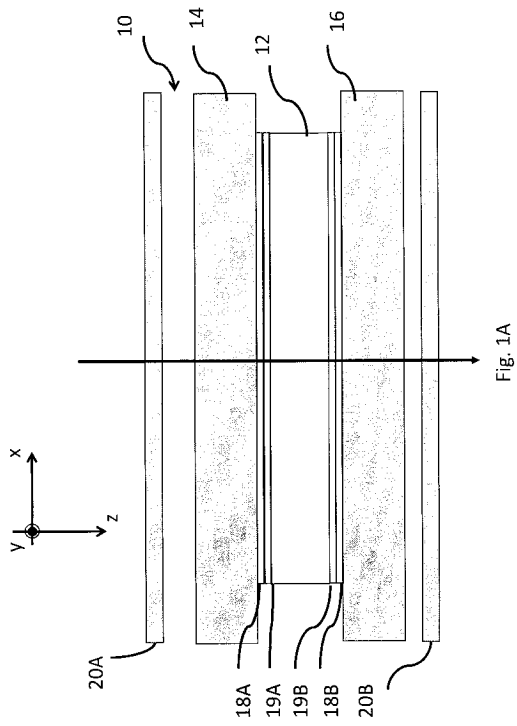


Fig. 1A

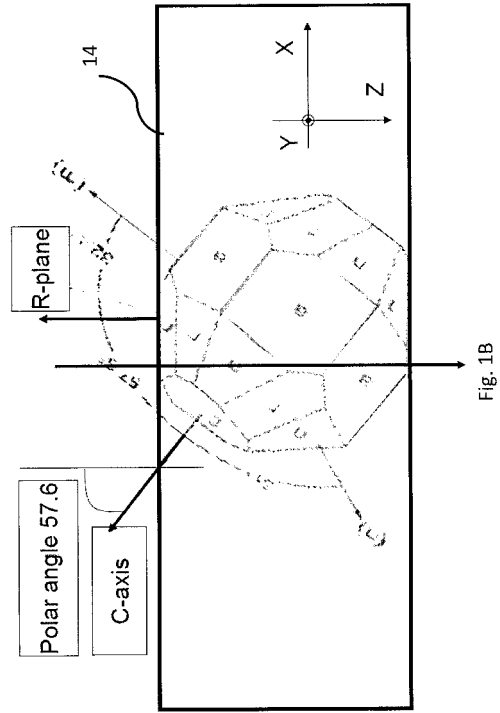


Fig. 1B

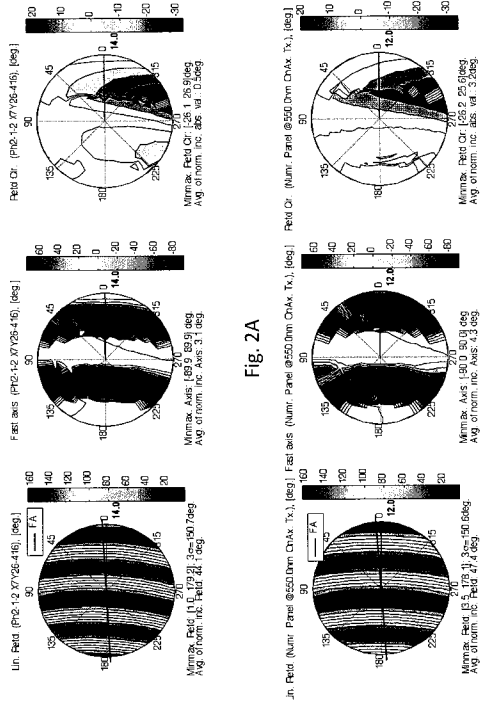


Fig. 2A

Fig. 2B

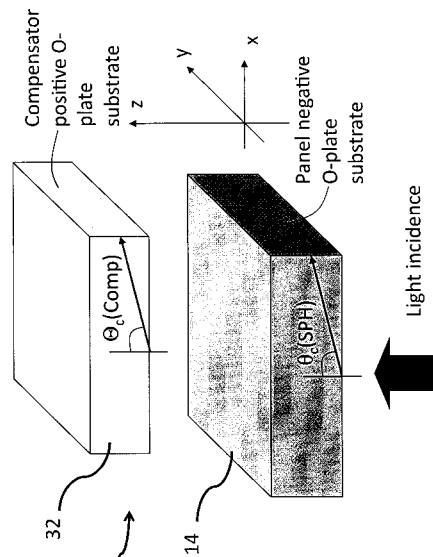


Fig. 3

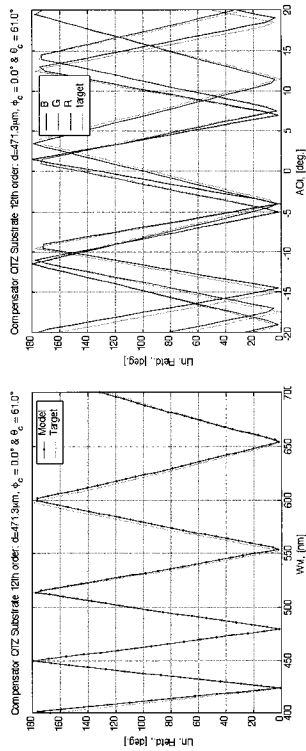


Fig. 4

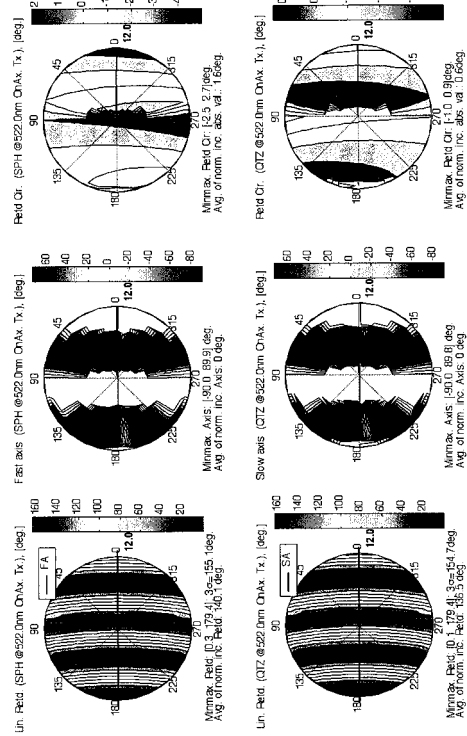


Fig. 5

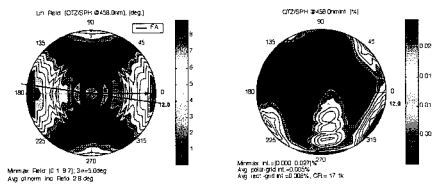


Fig. 6A

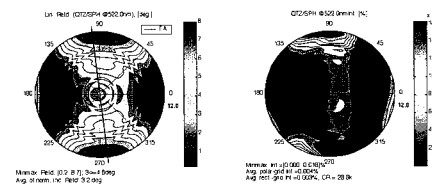


Fig. 6B

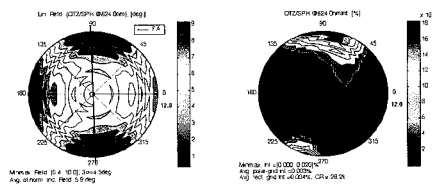


Fig. 6C

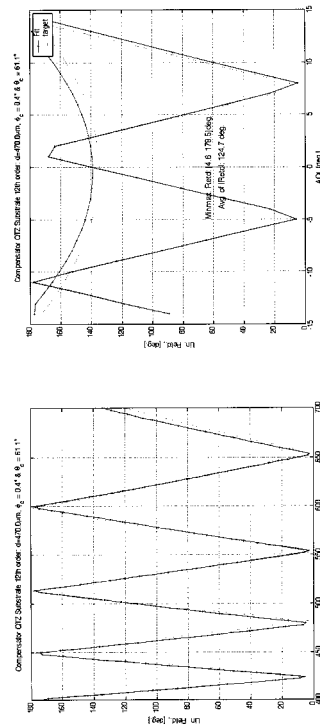


Fig. 7

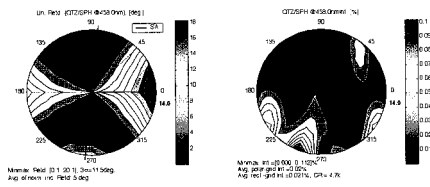


Fig. 8A

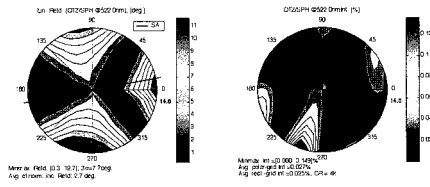


Fig. 8B

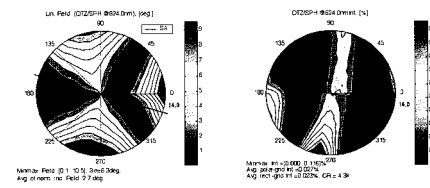


Fig. 8C

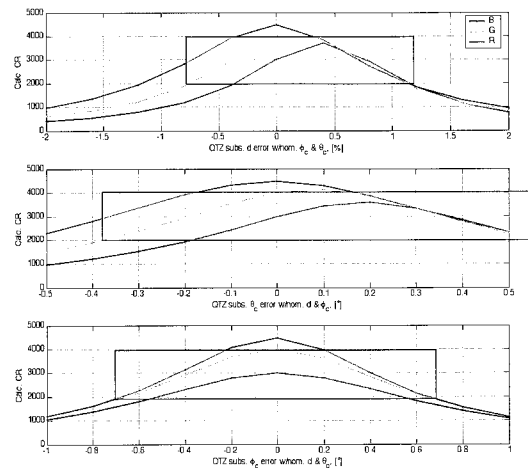


Fig. 9

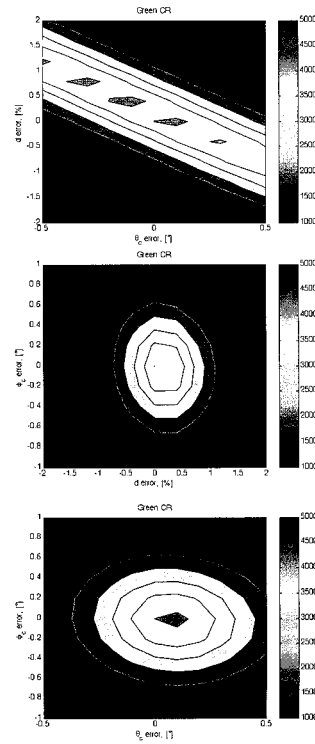


Fig. 10

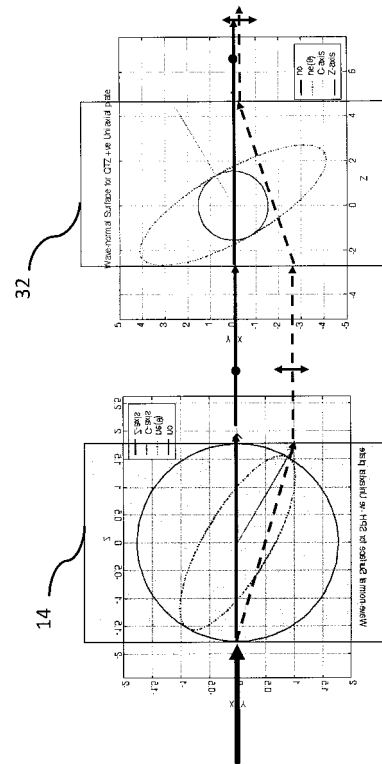


Fig. 11

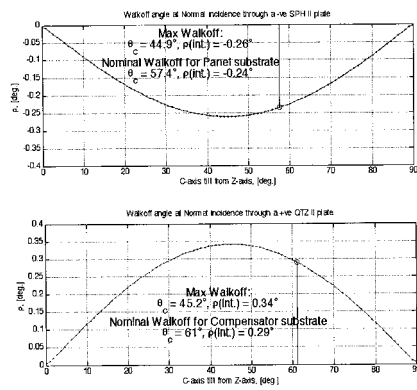


Fig. 12

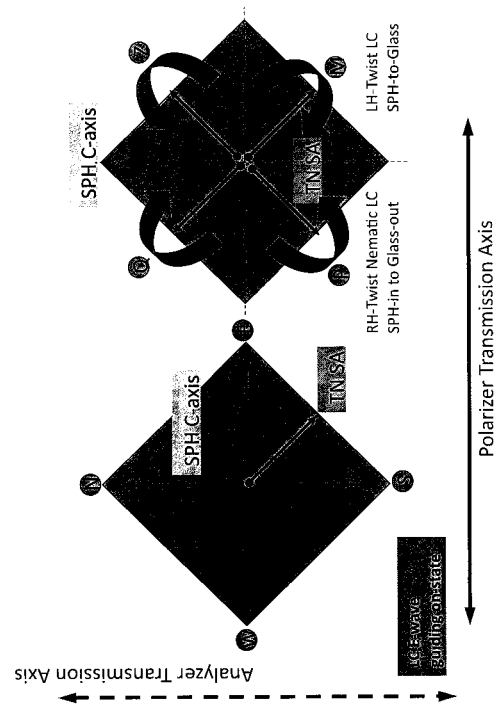


Fig. 13A

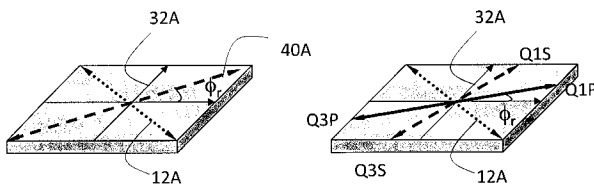


Fig. 13B

Fig. 13C

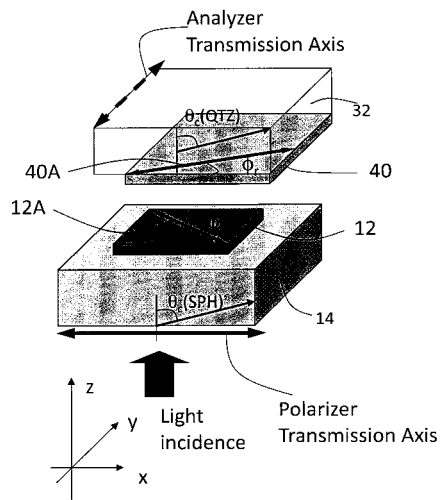


Fig. 14

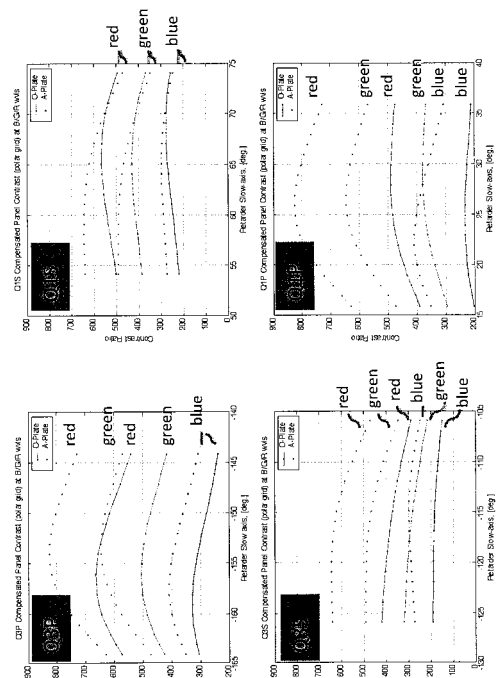


Fig. 15

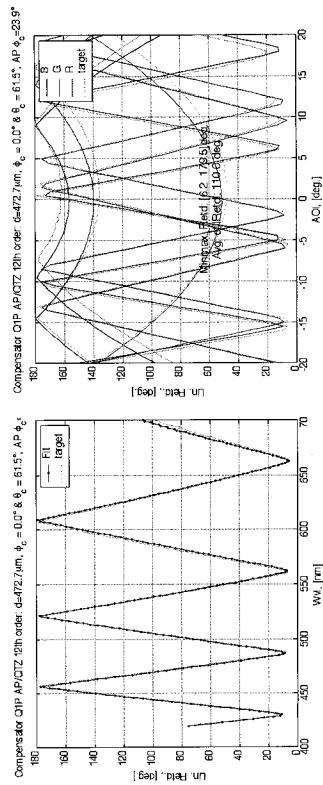


Fig. 16

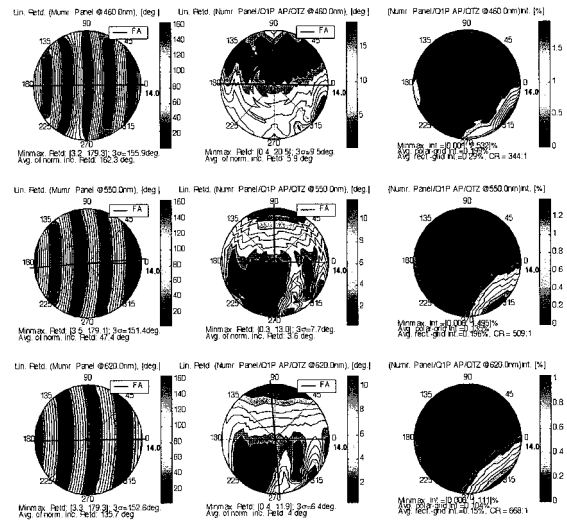


Fig. 17

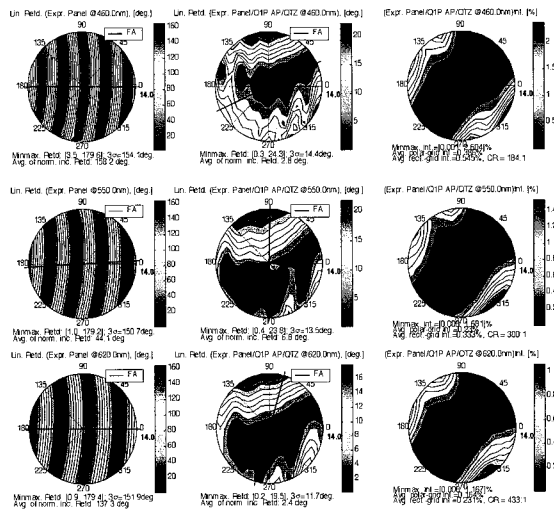


Fig. 18

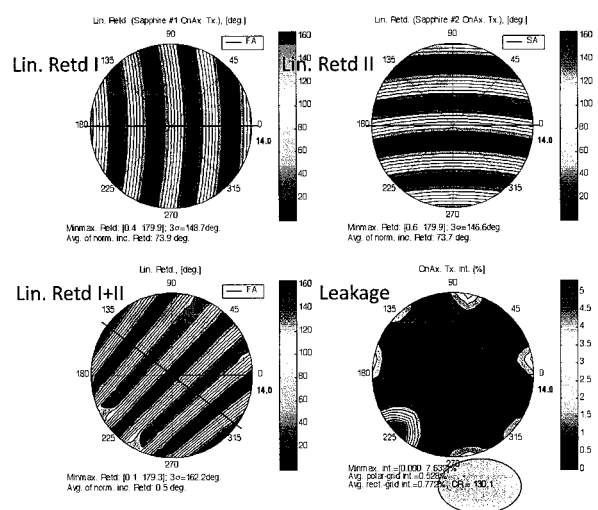


Fig. 19A



专利名称(译)	包括高阶波片的微显示面板的对比度补偿		
公开(公告)号	JP2010015150A	公开(公告)日	2010-01-21
申请号	JP2009156572	申请日	2009-07-01
[标]申请(专利权)人(译)	唯亚威通讯技术有限公司		
申请(专利权)人(译)	周杰伦迪ES Uniphase公司公司		
[标]发明人	キムレオングタン ナーダエイオブライエ		
发明人	キム レオング タン ナーダ エイ. オブライエ		
IPC分类号	G02F1/13363		
CPC分类号	G02F1/133632 G02F1/136277 G02F2001/133638		
FI分类号	G02F1/13363		
F-TERM分类号	2H191/FA22X 2H191/FA22Z 2H191/FA30X 2H191/FA30Z 2H191/FB13 2H191/FD12 2H191/GA01 2H191/GA19 2H191/HA06 2H191/HA11 2H191/HA15 2H191/LA22 2H191/PA03 2H191/PA06 2H191/PA09 2H291/FA22X 2H291/FA22Z 2H291/FA30X 2H291/FA30Z 2H291/FB13 2H291/FD12 2H291/GA01 2H291/GA19 2H291/HA06 2H291/HA11 2H291/HA15 2H291/LA22 2H291/PA03 2H291/PA06 2H291/PA09		
代理人(译)	田中 清		
优先权	61/077710 2008-07-02 US		
其他公开文献	JP5193135B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种对比度补偿器，用于改善液晶（LC）微型显示器的面板对比度，具有配置为O型板并支撑薄膜晶体管层的高阶波片。
 ŽSOLUTION：对比度补偿器包括配置为O-板的计数器高阶波片，其双折射符号与薄膜晶体管基板的双折射相反。Ž

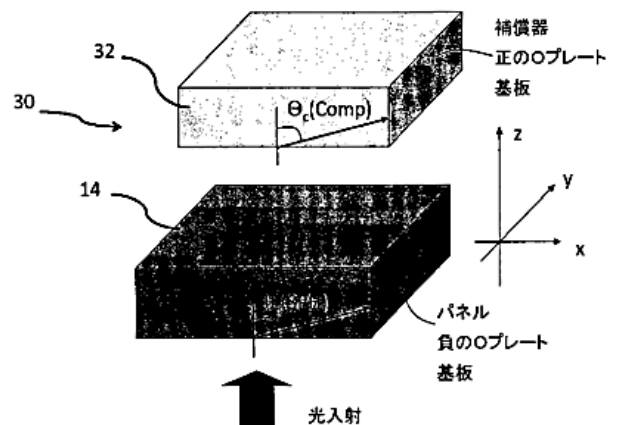


Fig. 1