

氏 名	いし なべ たか ひろ
授 与 学 位	石 鍋 隆 宏
学位授与年月日	博士(工学)
授与学位の根拠法規	平成12年3月23日
研究科、専攻の名称	学位規則第4条第1項
学位論文題目	東北大学大学院工学研究科(博士課程)電子工学専攻
指 導 教 官	反射型フルカラー液晶ディスプレイに関する研究
論文審査委員	東北大学教授 内田龍男
	主査 東北大学教授 内田龍男 東北大学教授 川上彰二郎
	東北大学教授 伊藤弘昌 大阪大学教授 吉野勝美
	東北大学助教授 宮下哲哉

論文内容要旨

第1章 序論

高度情報化社会の進展に伴い、フルカラー液晶ディスプレイ(LCD)は次世代の電子機器のキーデバイスとして注目され広く実用化されてきた。近い将来、携帯型情報端末の普及により、フルカラーLCDの一層の低消費電力化、高画質化が要求されると考えられる。従来のフルカラー液晶ディスプレイは液晶パネルの背後に置いたバックライトの光を利用して表示を行っている。しかし、このバックライトで必要とする電力は液晶パネルで必要とする消費電力に比べて遙かに大きいことから、低消費電力化への大きな障害となっていた。そこで反射型フルカラーLCDとして図1に示すような複屈折を用いた新しい構造を提案し、その最適化について検討を行った。この反射型フルカラーLCDは周囲光を利用して表示を行うことから低消費電力化が可能であり、また複屈折を用いることから中間調表示、高速動画表示が可能であるという特長を有している。従って明るさ、視野角、コントラスト比を改善することにより高品位な反射型フルカラーLCDを実現することができる。この構造の反射型LCDを広視野角範囲において高コントラスト化するためには偏光子の吸収特性および光学的異方性フィルムと液晶セルの複屈折の制御が必要である。また明るい表示を実現するためには周囲光を有効に利用することのできる前方散乱フィルムの設計が必要である。そこで本研究では、低電力・高品位反射型フルカラーLCDの実現のために、光学的異方性媒体の解析法を確立し、この解析法をもとに反射型LCDを構成する光学素子および液晶セルの設計法を明らかにすることを目的とした。

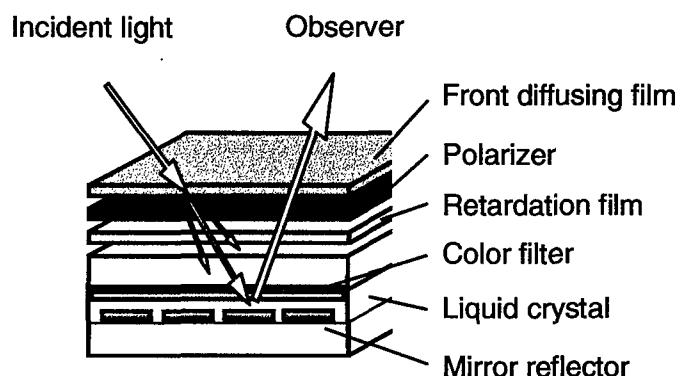


図1 複屈折を用いた反射型フルカラーLCD

第2章 偏光状態の解析法の確立

第2章では光学的異方性媒体の光学特性の解析法の確立について検討を行った。広視野角範囲において光学的異方性媒体の複屈折を制御するためにはその角度依存性の解析が重要である。これまで主に光学的一軸性媒体についてその主軸を含む面内における光学特性の解析がされてきたが、一軸性に限らず一般的な異方性媒体である二軸性について解析を行うことが必要である。しかし主軸からずれた方向から入射した光に対する光学的異方性媒体の光学特性の解析に適した方法が無いことから、これまで光学的二軸性異方性媒体の視角特性について十分な解析がされていない。そこで本研究ではミューラー行列法を斜め入射光に拡張した新しい解析法の確立について検討を行った。この結果、従来のミューラー行列における位相差成分および遅相軸方位成分を斜め入射光に拡張することによって、斜め入射光に対する光学的二軸性媒体の解析が可能であることを明らかにした。ここで斜め入射光に対する位相差成分および遅相軸方位成分は従来、光学的一軸性媒体についてのみ導出されている。そこでMaxwellの方程式を基に光学的二軸性媒体について導出を行った。この解析法を用いることにより、斜め入射光に対する光学的二軸性媒体の解析を、ポアンカレ球を用いて図式的に行うことが可能となり、偏光状態の解析を容易に行うことができることを示した。

第3章 LCDで使用する光学素子の広波長帯域化と広視野角化

第3章ではLCDを構成する光学素子である光学的異方性フィルムと偏光子の広波長帯域化および広視野角化について検討を行った。LCDを広視野角範囲において高コントラスト化するためには暗状態において可視光領域の光の反射率を入射角によらず0にすることが望ましい。このためにはLCDを構成する光学素子の広波長帯域化と広視野角化が必要である。光学的異方性フィルムの広帯域化を実現するために必要な波長分散の制御法は従来様々な方法が提案されている。しかし実際にLCDに使用するために必要となる波長特性の最適化および広帯域化した光学的異方性フィルムの広視野角化について解析がされていない。そこで本研究では広帯域光学的異方性フィルムの波長特性の最適化について検討を行った。この結果、複数枚のフィルムを使用し、その設計波長と遅相軸方位を最適化することによって光学的異方性フィルムの広帯域化が実現できることを明らかにした。また広視野角化については構成する光学的異方性フィルムの位相差、および遅相軸方位が光の入射角に依存しないように光学的異方性フィルムの屈折率を最適化することが必要であることを示し、第2章の結果をもとにその広視野角条件を導出した。

偏光子は入射する光の角度により偏光子を通過した光の偏光状態が変化するという角度依存性を有する。このことから、吸収軸を直交させた偏光子において光の漏れが生じ、LCDのコントラスト比を低下させるという点で問題となっている。従来、偏光子に光学的異方性フィルムを積層することにより、光の漏れを抑える設計法が提案されているが、通過した光の偏光状態に波長依存性があることから、全体として良い特性が得られていない。そこで本研究では偏光子を通過する光の偏光状態が入射角度によらず一定であり、波長依存性が小さくなるような新しい構造の広視野角

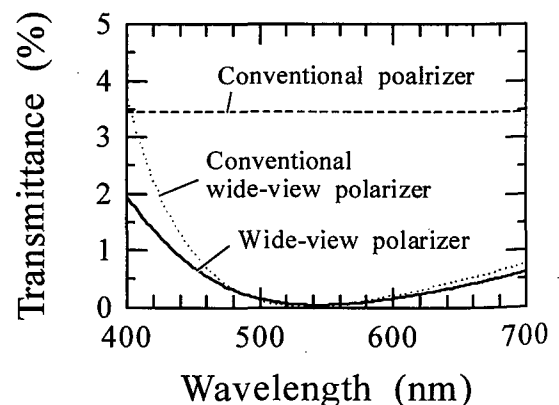


図2 広視野角偏光子と従来の偏光子の波長特性の比較（入射角度:60度）

偏光子を考案し、その設計条件を明らかにした。この広視野角偏光子は二枚の光学的異方性フィルムを対称に積層することにより互いの波長依存性を打ち消すことが可能であり、これにより波長依存性の少ない広視野角偏光子が実現できる。直交ニコルにした偏光子の光の入射角に対する波長依存性の変化を図 2 に示す。比較として従来の偏光子の特性を合わせて示す。図から、本設計によって得られた広視野角偏光子は従来の偏光子と比べて極めて光の漏れが少なく、波長依存性も小さいことがわかる。直交ニコルにした広視野角偏光子および従来の偏光子の視角依存性を図 3(a)、図 3(b)にそれぞれ示す。波長は 550nm として計算を行った。図から広視野角偏光子は全ての角度において光の漏れが生じておらず、以上のことから波長依存性が小さく、広視野角特性を有する偏光子が実現できることが示された

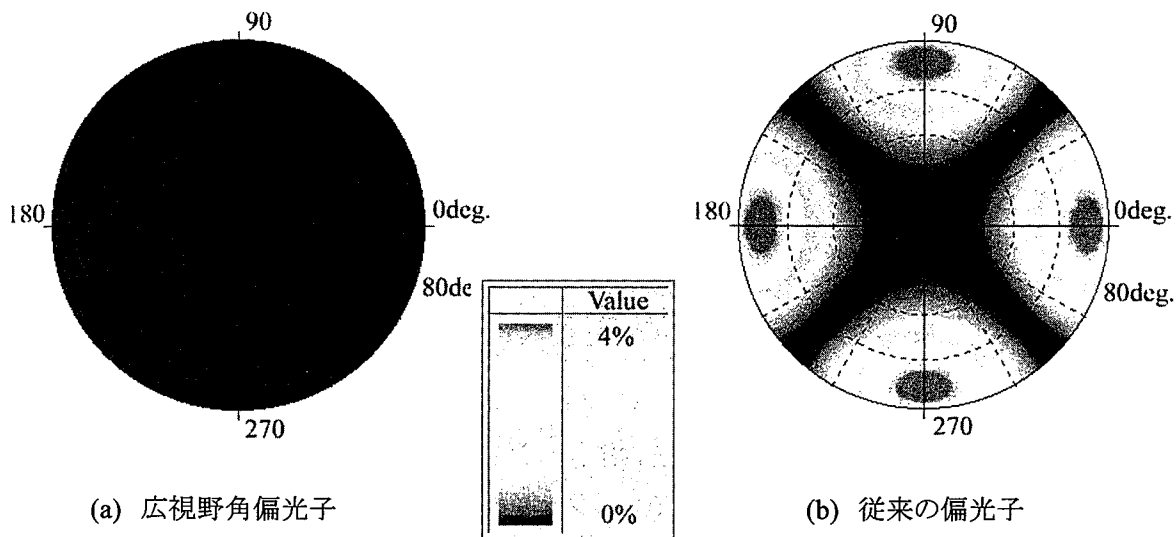


図 3 吸収軸を直交させた広視野角偏光子の視角特性

第 4 章 高品位反射型フルカラーLCD の設計

第 4 章では、反射型フルカラーLCD の明るさ、視野角およびコントラスト比を向上させるため、液晶セルと前方散乱フィルムの設計法について検討を行った。液晶の配向に捻れが無い場合、液晶セルの位相差の波長分散は光の入射角に依存しない。このことから広視野角範囲において反射型 LCD の高コントラスト化を実現するためには、液晶セルの光学的異方性を補償フィルムによって完全に補償し、更に広視野角・広帯域 1/4 波長フィルムを積層することが必要であることを明らかにした。ここで補償フィルムは従来、液晶セルのラビング方向においてのみ設計法が解析されている。そこで第 2 章の結果をもとに、従来困難であった液晶セルの角度特性について解析を行い、ラビングに垂直な方位における補償フィルムの設計法について検討を行った。この結果、ラビングに垂直な方位において液晶セルの位相差は入射時と反射後で変化せず、また遅相軸方位はポアンカレ球の S1 軸に対して対称となることを示し、補償フィルムを実現するためには、反射板上における光の偏光状態がポアンカレ球の S1 軸上にあることが必要であることを明らかにした。この結果、 ± 55 度の視角範囲において明状態と暗状態の明るさのコントラスト比が 100:1 以上と広視野角・高コントラスト特性を有する液晶セルを実現した。更に反射型フルカラーLCD の明るさを改善するため、周囲光を有効に利用することができる前方散乱板の設計法について検討を行った。この結果、方位角方向の散乱を制限し、背面の金属反射板と組み合わせて必要な視野角内に散乱光を集中させる手法を確立し、MgO 標準白色面に対して 5 倍の明るさを有する前方散乱フィ

ルムを実現した。次いで、以上の設計条件に基づいて反射型フルカラーLCDの試作を行った。試作した反射型フルカラーLCDの写真を図4に示す。左が試作した反射型フルカラーLCD、中がカラー写真、右が透過型フルカラーLCDである。試作した反射型LCDは有効視野角50度、平均反射率70%(MgO標準白色面との比)、コントラスト比50:1と極めて優れた特性を有しており、従来の透過型フルカラーLCDと比べても十分な、表示特性を有する反射型フルカラーLCDを実現した。

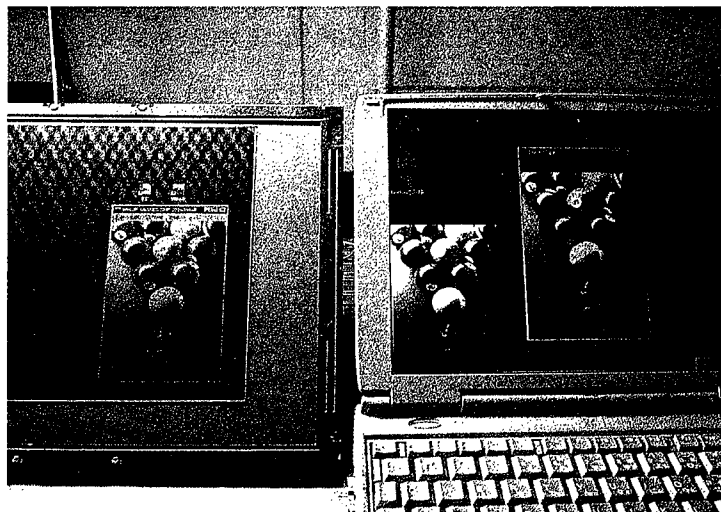


図4 室内における試作した反射型フルカラーLCD
(左: 反射型フルカラーLCD 中: カラー写真 右: 透過型フルカラーLCD)

第5章 結論

本研究によって得られた成果を総括して述べている。

論文審査結果の要旨

フルカラー液晶ディスプレイは次世代の電子機器のキーデバイスとして注目され、広く実用化されてきているが、近年携帯型情報端末の普及に伴い、一層の低消費電力化および高画質化が強く要求されている。そこで著者は超低電力化を可能とする反射型フルカラー液晶ディスプレイの高画質化を目的として本研究を行った。具体的には、光学的異方性媒体の光学特性の解析法を考案すると共に、これを応用して反射型フルカラー液晶ディスプレイの明るさ、視野角、コントラスト比などを大幅に改善し、次世代の超低電力・高品位ディスプレイの実現の可能性を明らかにした。本論文は、その成果をまとめたもので、全編5章から成る。

第1章は、緒論である。

第2章では、光学的異方性媒体の光学特性について新しい解析法を提案している。光学的異方性媒体の複屈折を3次的に制御するためには複屈折の角度依存性の解析が必要である。しかし、これまで斜めから入射した光に対する光学的異方性媒体の解析はほとんど行われていなかった。そこで著者はミューラー行列法を斜め入射光に拡張した新しい解析法を確立した。これは液晶デバイスのような光学的異方性媒体の最適設計を行う上で極めて重要であり、高く評価することができる。

第3章では、第2章の結果をもとに光学的異方性フィルムおよび偏光子の視角依存性と波長依存性について詳細な解析を行っている。その結果、光学的異方性フィルムの広視野角化および広帯域化のための設計手法を明らかにし、実験によりその妥当性を確認した。さらに偏光子に光学的異方性フィルムを積層した新しい広視野角偏光子を考案すると共に、その設計条件を明らかにした。これらは液晶ディスプレイの広視野角化および高コントラスト化を可能とするものであり、重要な成果である。

第4章では、反射型液晶ディスプレイの明るさ、視野角およびコントラスト比を向上させるために、液晶セルおよび散乱フィルムの設計法について詳細な解析を行い、試作によりその動作を確認している。具体的には、第2章の結果をもとに、従来困難であった液晶セルの角度特性の解析を行い、まず液晶セルの光学的異方性を補償フィルムによって完全に補償した。次いで、広視野角・広帯域1/4波長フィルムで入射光を円偏光に変換する必要があることを示すと共に、これらのフィルムの設計手法を明らかにした。さらに、明るさを改善するために散乱フィルムの設計法を確立し、背面の金属反射板と組み合わせて必要な視野角内に散乱光を集中させる手法を確立した。次いで、この設計条件に基づいてディスプレイの試作を行い、従来、有効視野角約40°、平均反射率30%程度(MgO標準白色面との比)、コントラスト10:1程度であったのに対して、それぞれ約50°、70%および50:1と圧倒的に優れた性能を実現している。これは注目すべき成果である。

第5章は、結論である。

以上要するに本論文は、低電力・高品位反射型フルカラー液晶ディスプレイの実現のために、光学的異方性媒体の解析法を確立し、この解析法をもとに反射型液晶ディスプレイを構成する光学素子および液晶セルの設計法を明らかにすると共に、実際に明るい高品位ディスプレイを試作してその妥当性を示し、反射型フルカラー液晶ディスプレイの実用化を可能にする理論と技術を確立したものであり、電子工学および画像電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。