東北大学 内田研究室

学生会員 大野 友嗣⁺, 久保木 剣⁺, 片桐 麦⁺

⁺ 東北大学 大学院 工学研究科 電子工学専攻 内田研究室

"Uchida Laboratory, Tohoku University" by Yuji Ohno, Ken Kuboki and Baku Katagiri (Department of Electronics, Graduate school of Engineering, Tohoku University, Sendai)

1. ま え が き

今回、映像情報メディア学会から研究室紹介を依頼され、若手研究者、学生としての視点から研究室の紹介をさせて頂くことになった。

我々の所属する東北大学大学院工学研究科電子工学専攻内田研究室は、東北大学の青葉山キャンパスの電気系に位置している(図1)。内田研究室では、液晶を中心に、その基礎物性から液晶デバイス、大画面高品位ディスプレイ、また、オプトエレクトロニクス等への応用について幅広い研究を行っている。

まず液晶に関わる研究の歴史について略述したい。主な研究成果として、1981年に世界で初めてマイクロカラーフィルタによる液晶ディスプレイのフルカラー方式(図2)を考案し¹⁾²⁾、これが現在パソコンモニターや液晶テレビに広く実用されている。1993年には高速化と広視野角化を可能にしたOCB方式LCDを提案している³⁾。特に、最近OCB方式の高速性(図3)に注目が集まっており、この高速性を利用して時分割で3色の画像を高速に切換えてフルカラー画像を実現するフィールドシーケンシャル方式を開発した⁴⁾。電子ディスプレイは、紙のように白く薄く軽量かつ低消費電力であることが理想であり、このようなディスプレイを実現するために、光の利用効率を極限まで高めた反射型カラー液晶ディスプレイについて理論と実験の両面から研究を進めており、世界で初めてバックライトなしで明るいフルカラーの動画の表示に成功した(図4)^{5)~8)}。これらはPDAや携帯電話等に広く実用されて

図1 内田研究室のある東北大学青葉山キャンパス電気系

図2 世界で初めてのマイクロカラーフィルタ液晶ディスプレイ

図4 開発した反射型液晶ディスプレイ

OCB方式(新方式)

TN方式(従来方式)

図3 OCB方式の高速性

図5 ゼミでの討論風景

いる。

以下では研究室の構成、実験施設、および研究成果の一部を紹介する。

2. 研究室の構成

現在の研究室の構成は、教職員が内田龍男教授、鈴木芳人特任教授、宮下哲哉助教授、石鍋助手、久保木PD、鈴木技術職員、川島秘書の7名、博士後期学生が5名、博士前期学生が5名、学部学生が4名である。学生はいくつかの大きなグループに分かれ、各々は研究課題を与えられ、研究を行っている。現在、内田先生は東北大学大学院工学研究科長兼工学部長の任にあたられておりとても多忙なため、あまり研究に顔を出せず、宮下先生が研究室全体を統括している。それでも、内田先生の参加できるわずかな時間を利用してゼミが行われている。ゼミでは学生も職員に遠慮することなく積極的な質疑討論を行うという方針であり、実際に活発な討論が交わされている(図5)。

また、東北大学電気系21世紀COEプログラム「新世代情報エレクトロニクスシステムの構築」(拠点リーダー：内田龍男教授)の中心的な研究室であり、2名の博士後期課程の学生がCOEリサーチアシスタントに従事している。

3. 実験施設

実験施設は主にクリーンルーム(図6)および実験室を使用している。クリーンルームには基板洗浄装置、ラビング装置、スパッタリング装置などの液晶

図6 クリーンルームでの作業風景

セル作製のための装置の他、走査型原子間力顕微鏡や非接触表面形状測定装置、フーリエ変換赤外分光光度計などの分析装置を備えており、液晶セルなどの試料作製や表面分析に使用している。実験室にはLCRメータ、偏光顕微鏡、分光エリプソメータなどを備えており、主に作製した液晶セルの特性評価などの測定・解析を行っている。

4. 研究紹介

4.1 研究内容について

内田研究室では大きくわけて次の四つの研究を行っている。

- (1) 液晶分子の表面配向制御に関する研究
- (2) 高性能な液晶ディスプレイの研究
- (3) 高輝度、薄型軽量、超低消費電力反射型フルカラー液晶ディスプレイ
- (4) 大画面・超広視野角ディスプレイ

このなかで、著者らが行った研究成果を中心にいくつか取り上げる。すなわち、液晶表面配向力に関する研究、高性能液晶ディスプレイとしてのOCB方式液晶ディスプレイの配向転移と光学設計に関する研究および大画面ディスプレイとしてのプロジェクションディスプレイに関する研究について以下に紹介する。

4.2 極角アンカリング強度の高精度測定法⁹⁾

近年、LCDの大画面高精細化、広視野角化に伴い、その用途はモニタさら

図7 各セル厚における極角アンカリング強度の測定結果

には動画表示が中心であるテレビ等さまざまな分野に広がってきており、IT社会における不可欠なデバイスとしてLCDの高性能化が求められてきている。液晶表面の配向力、すなわち、極角アンカリング強度は液晶の応答速度に影響を与えていると考えられており、このことから、液晶の配向力の評価のために極角アンカリング強度の高精度測定法の確立が極めて重要となってきた。そこで本研究では、極角アンカリング強度の高精度測定法の確立を目的とした。

本研究の結果、我々は、ハイブリッド配向液晶セルを用いて、液晶セルの配向面に対して垂直な方位における振幅比および位相差の角度依存性を測定し、理論式との数値的なフィッティングを行うことにより、極角アンカリング強度を決定するというPsi Delta Hybrid aligned liquid crystal cell (PDH) 法を提案した^{2) 3)}。PDH法の信頼性を確認するため、極角アンカリング強度のセル厚依存性の測定を行った結果を図7に示す。極角アンカリング

図8 OCBセルの構造

強度は、セル厚に対して一定であり、このことからPDH法の信頼性が充分であることを示した。

4.3 OCB方式におけるスプレイ-イベンド転移¹⁰⁾

最近の情報機器では、動画表示が増えてきており、液晶ディスプレイは動画表示特性の向上が求められている。この要求に応えるために、我々は図8に示すように、2枚の偏光子と視野角補償フィルム、ベンド配向液晶セルから構成されるOCB方式を提案してきた。このモードは高速応答特性を有することから、高品位な動画表示を必要とするこれからのディスプレイに非常に有効な方式である。ベンド配向液晶セルは、図8に示す配向状態をとっている。OCBモードLCDは、電圧無印加時にスプレイ配向が安定であることから、駆動前にスプレイ配向からベンド配向へ転移させる必要がある。スプレイ-ベンド転移は、間に高いエネルギー障壁があるために、転移核を起点としてその転移核から配向欠陥を伴ってベンド配向領域が広がることによって進行する。これまで転移核発生のメカニズムが不明であったことから、確実に転移を起こす核の形成は一般的に困難なものであった。そこで本研究では、転移核の形成に必要な条件を明らかにし、その結果を基に最適な転移核形成方法を確立することを目的とした。

まず、スプレイ配向からベンド配向へ転移する際の液晶分子の動きについて検討を行った。スプレイ配向に電圧

図9 転移に必要なねじれ角

を印可した場合、セル厚方向において液晶分子の方向が 180° 変化する必要があるが、通常の電圧範囲内では、このような状態を得ることはできない。これに対して、 180° ねじれ配向では、ベンド配向へ円滑に変化することがわかっている¹¹⁾。このことから、スプレイ配向領域の隣にこの配向領域を形成することにより、電圧印加時に転移を起こすことができると考えられる。本研究で得られた転移に必要なねじれ角を図9に示す。図中の曲線より上方に示した領域における印加電圧とねじれ角の組合せを用いることにより、転移を起こすことができる。

本研究の結果、スプレイ-ベンド転移にはねじれ配向が必要であり、そのねじれ角は 180° だけでなく、 90° より大きいさまざまな角度であること、また、その核の形成に必要なねじれ角は印加電圧に依存することを明らかにした。この結果をもとに、セル中に 90° より小さいねじれ角を有するスプレイチルト配向領域とユニフォームチルト配向領域を隣接させて形成する、いわゆるベンド転移の方法を考案した。電圧を印加した場合、1番目の転移段階において 90° より大きいねじれ角の配向が形成され、次に2番目の転移段階においてベンド配向が形成される。これにより、確実な転移を実現でき、OCBディスプレイを実現できる方向性を見出した。

4.4 OCBセルのベンド配向面外方位における階調反転の改善による高透過率化¹²⁾

OCB方式はラビングを施したベンド

図10 OCB方式LCDの視角透過率特性

配向面内において、図10(a)に示すように広視野角特性を有している。しかし、ベンド配向面に対し垂直方位において図10(b)に示すような視野角に対する透過率特性を有し、高透過率の階調において輝度の反転が生じている。従来、このような高透過率の階調における輝度反転の問題を解決するため、図10に示すように点線の階調を除いていた。しかし、この方法を用いることにより液晶パネルの透過率が低下し、透過率が低下したことによる輝度の損失を補うため、光源の明るさを増す必要があった。この結果、消費電力が増加するという問題が生じていた。本研究では、ベンド配向面外方位における階調反転の原因を明らかにし、高透過率かつ階調反転の生じないOCB方式LCDの設計法について検討を行った。

ベンド配向面外において、液晶分子の見かけの遅相軸の方位は視野角の変化に伴い変化する。このことは、視角透過率特性が位相差だけでなく遅相軸の方位にも依存することを示している。そこで、我々はミューラ行列およびポアンカレ球を用いて偏光状態の変化について解析を行った。OCBセルは液晶の分子配向分布がセルの中央に対

図11 ベンド配向面外方位の視角透過率特性

し上下対称となっている。このことから、OCBセルの透過率は以下の式で表される。

$$T = 1 - S_2^2 \quad (1)$$

ここで、 S_2 はOCBセルの中央における光の偏光状態の45°方位の直線偏光成分を表す。階調反転が生じないためには、階調の変化に対し透過率が単調に変化することが必要であり、したがって式(1)より階調反転が生じないための条件として $S_2 \geq 0$ が求められることを明らかにした。

以上の条件を元に、OCBセルの設計を行った。新しく設計したOCB方式LCDのベンド配向面外の視角透過率特性を図11に示す。このように、高輝度かつ階調反転の生じない高輝度広視野角OCB-LCDが実現できることを示した。

4.5 高品位プロジェクタスクリーンについての研究¹³⁾

従来提案されてきた大画面ディスプレイの中でも、プロジェクションディスプレイは構造が簡単であり、低コスト化および製造電力の低減が可能となる。また、画素の超微細化、大容量化など多くの優れた可能性を有している。

しかし、従来のフロントプロジェクションディスプレイシステムは、明るい環境下において、プロジェクタ光のみでなく外光まで観察者の方向に拡散させることから、画像のコントラスト比が低下するという問題を有している。

この問題を解決するため本研究では、図12に示すように、外光とプロジェクタ光を異なる角度から入射し、入射角

図12 本研究システムの概略図

図13 明るい環境下における本研究スクリーンと従来スクリーンの比較

度の違いにより選択的に光を拡散反射または鏡面反射させることにより、プロジェクタ光のみを観察者の方向に拡散させ、外光はそれ以外の方向に鏡面反射させるスクリーンを考案した。

最適設計した本研究スクリーンと従来のホワイトマットスクリーンを、明るい環境下において比較した写真を図13に示す。図に示すように、本研究スクリーンは、プロジェクタ光のみを観察角度領域に拡散させることにより明るい環境下においても高いコントラスト比の画像を表示可能である。明るい環境下における高いコントラスト比と、広い拡散角度領域を兼ね備えたフロントプロジェクションディスプレイを実現した。

5. む す び

以上、東北大学大学院工学研究科電子工学専攻内田研究室について紹介した。我々は常にディスプレイの将来像について想像を膨らませながら研究を

続けている。これからも次世代を見据えたディスプレイの夢を抱きながら研究に携わっていきたいと考えている。

(2006年11月29日受付)

【文 献】

- 1) T. Uchida, et al.: Proc. of Eurodisplay, p.39 (1981)
- 2) T. Uchida, et al.: IEEE Trans., ED-30, p.503 (1983)
- 3) Y. Yamaguchi, T. Miyashita and T. Uchida: Digest of the SID '93 Int. Symp., p.277 (1993)
- 4) T. Uchida, et al.: Proc. of the International Display Research Conference, p.37 (1997)
- 5) T. Uchida, T. Katagishi, M. Onodera and Y. Shiihata: Trans. IEEE, ED-33, p.1207 (1986)
- 6) K. Tadokoro, T. Koizumi and T. Uchida: Digest of the SID88, p.151 (1988)
- 7) T. Koizumi and T. Uchida: Digest of the SID88, p.157 (1988)
- 8) T. Uchida, T. Nakayama, T. Miyashita, M. Suzuki and T. Ishinabe: Proc. of Asia Display95 p.599 (1995)
- 9) Y. Ohno, et al.: SID2005 Digest, P181L (2005)
- 10) K. Kuboki, et al.: 信学技報, 103, 593, p.21 (2004)
- 11) T. Miyashita, et al.: Eurodisplay93 Proc, p.149 (1993)
- 12) T. Higano, et al.: 信学技報, 105, 567, p.29 (2006)
- 13) B. Katagiri, et al.: 信学技報, 103, 593, p.25 (2006)

大野 友嗣

2004年、東北大学工学部電子工学科卒業。2006年、同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程前期修了。現在、同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期在学中。液晶の配向力の精密測定に関する研究に従事。学生会員。

久保木 剣

2001年、東北大学工学部電子工学科卒業。2006年、同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期修了。現在、同大学大学院工学研究科電子工学専攻PD。ベンド配向液晶の初期配向転移に関する研究に従事。

片桐 まさ彦

2001年、東北大学工学部電子工学科卒業。2003年、同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程前期修了。現在、同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期在学中。プロジェクションディスプレイに関する研究に従事。