

コレステリック液晶を用いた光書き込み電子ペーパー

石井 努・有澤 宏・原田 陽雄

Photo-Addressable Electronic Paper Using Cholesteric Liquid Crystal

Tsutomu ISHII, Hiroshi ARISAWA and Haruo HARADA

Photo-addressable electronic paper is a unique medium which consists of cholesteric liquid crystal (ChLC) and an organic photoconductor (OPC). The ChLC layer stacked on the OPC layer can be switched between a focal-conic texture and a planar texture by applying AC voltage under light modulation. The fabricated mono-color electronic paper had several advantages of high-speed printing, many rewritable times, lightweight, thin and flexible form factors, non-volatility of image, image stability against bending or pressing and high resolution. And a novel method of full-color printing with the stacked ChLC layers was demonstrated.

Key words: electronic paper, cholesteric liquid crystal, organic photoconductor

近年、パーソナルコンピュータやインターネットの普及により、ユーザーが取り扱う電子ドキュメントの量は飛躍的に増加している。しかし、現状の表示デバイスでは、膨大な電子情報を熟読し処理するには不十分である。そこで、電子情報を表示し理解するために多くの紙が使用され、紙の消費量は年々増加してきた。このような環境変化に対応するため、紙の扱いやすさと電子の便利さをあわせもち、増大する電子情報を誰もが簡単に取り扱えるようにしてくれる電子ペーパーが、広く研究開発されるようになってきた。

そのなかで、今回紹介する光書き込み電子ペーパーは、「ドキュメントを読む」ことに着目し、紙のように扱えることを目指している。図1に、光書き込み電子ペーパーのシステムイメージを示す。基本的には、紙とプリンターの関係と同じく、表示情報のメモリー性と書き換え性のある表示媒体と、その媒体に二次元の光画像を照射して、短時間に露光記録する書き込み装置で構成する。このような分離構造を採用することで、駆動ICなどが不要な簡単な媒体構成とし、紙のような形態、すなわち薄型・軽量・フレキシブルなどの特徴とともに、媒体コストの低価格化を実現できる。これにより、紙ドキュメントの利点である一覧性のよさ、すなわち複数枚の表示媒体を使用して多くの情

報を閲覧・比較することも実現できる。

本稿では、この電子ペーパーの基本原理、試作したモノクロ媒体、カラー化手法などの概要について紹介する。

1. 基本 原 理

図2に、表示媒体の基本構造を示す。内面に透明電極をもつフレキシブルなフィルム基板の間に、光吸収層を介して表示層と光導電層を積層する。

表示層にはコレステリック液晶 (ChLC, カイラルネマチック液晶も含む) を用い、マイクロカプセル化することで、基板変形や外部圧力による画像劣化を防止している。図3に、駆動電圧に対する ChLC の電気光学応答の例を示す。ChLC は、液晶のダイレクター (液晶分子の平均的な配向方向) がらせん構造である分子配列をとる。無電圧では、らせん軸が基板に対して垂直であるプレーナー状態もしくは、らせん軸が基板に対して平行であるフォーカルコニック状態のどちらかで安定である。プレーナー状態を初期状態とし、電圧を増加していくと、まずフォーカルコニック状態になり、さらに電圧を増加することで、らせん構造がなくなりダイレクターが電場方向にそろってホメオトロピック状態になる (図中黒の矢印)。この状態から無電圧にすると、フォーカルコニック状態はそのまま状態を維持し、ホメオトロピック状態はプレーナー状態へ遷移する



図1 光書き込み電子ペーパーのシステムイメージ。

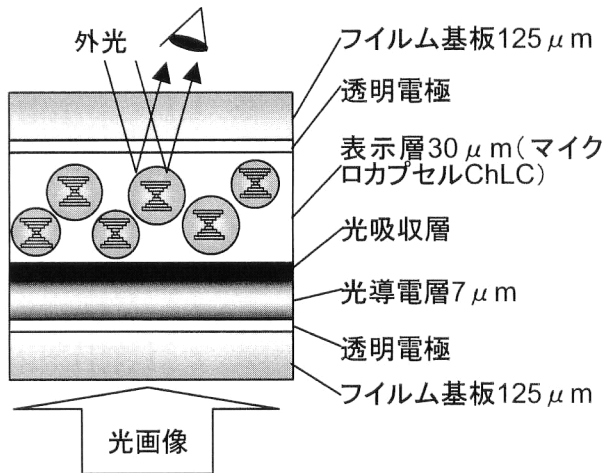


図2 表示媒体の基本構造。

(図中白の矢印)。入射光に対する光学的特性は、フォーカリック状態では、わずかな前方散乱はあるが入射光を透過させ、その透過光が下層の光吸収層で吸収されるため、反射率が低い状態(非表示)になる。また、プレーナ状態では、らせん構造の周期と同じ波長の光で、かつらせんの回転方向と同じ向きの円偏光を選択反射し、反射率が高い状態(表示)になる。

光導電層には、アモルファスシリコンなどの無機材料でなく、生産プロセスや信頼性などを考慮し有機光導電材料を選択した。また構成は、電荷輸送層の上下に電荷発生層を配置する独自構造を採用し、交流駆動を可能にしている^{1,2)}。

次に、光書き込みの原理を説明する。上下の透明電極間に電圧を印加すると、表示層には光導電層とのインピーダンス比で決まる分圧が印加される。光導電層は露光量によって抵抗値が変化するので、それに伴い表示層への分圧も

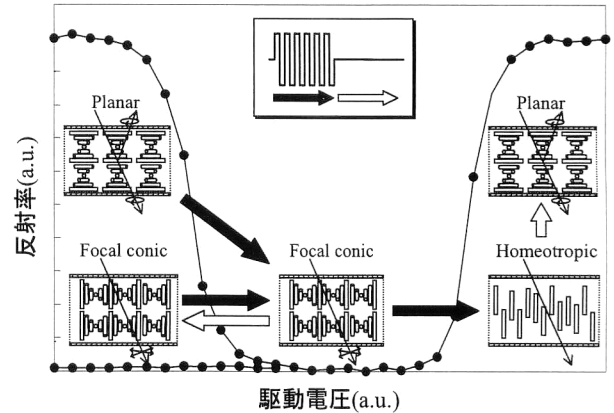


図3 コレステリック液晶の電気光学応答。

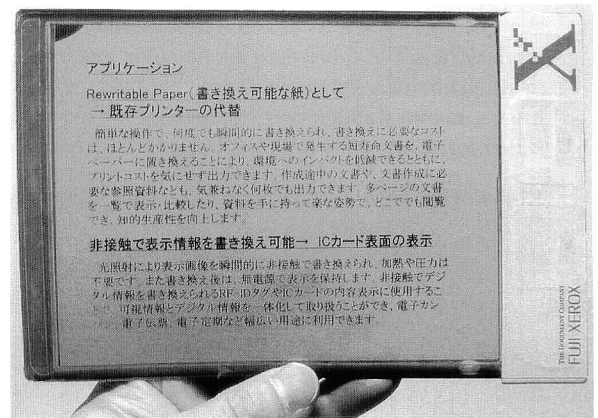


図4 光書き込み電子ペーパー。(カラー口絵参照)

変化する。そこで、ChLCの閾値を考慮し、露光量で表示層への分圧を制御することで、ChLCを駆動する。

2. モノカラー表示媒体

表示層は、カプセル化したChLCをバインダー樹脂と混合し、ITO(indium-tin-oxide)電極がスパッター蒸着されたPET(poly(ethylene terephthalate))フィルム基板に印刷することで作製した。カプセルの壁材料にはウレタンウレア樹脂を用い、平均粒径 $6\mu\text{m}$ 程度のマイクロカプセルを界面重合法により形成した。光導電層は、電荷発生層にフタロシアニン系材料を、電荷輸送層にトリフェニルアミン系の正孔輸送材料を用い、バインダー樹脂に分散させ印刷法により各層を作製した。

試作したモノカラー表示媒体にフォトマスクで調光した光画像を照射し、0.2秒の記録時間で光書き込みを行った例を図4に示す。表1には、表示媒体の基本特性値を示す。

記録画像は、反射型でコントラスト比8を実現し、無電源で1年以上情報を保持できる。形状は薄型軽量フレキシブルで、紙のような形態をもち、曲げや圧力に対しても記

表1 モノカラー表示媒体の仕様と基本特性.

外形サイズ	105×171 mm
表示サイズ	82×130 mm
厚み	0.3 mm
重量	7.7 g
記録条件	400 V, 10 Hz, 0.2 s
最大反射率	25% (typical)
コントラスト	8 (typical)
解像度	600 dpi

録画像の変化はない. 書き換え可能回数は1万回以上であり, 繰り返し利用が可能である.

3. カラー表示の実現

表示層として, それぞれRGBを選択反射するChLCを積層する構造を検討した. この構造では, 媒体に発色位置の限定がなく, 位置合わせが容易になるという利点や光の利用効率が高いという利点がある. しかし, 光導電層と表示層との分圧のみで, 各層の反射状態を同時かつ選択的に制御する手法が必要となる. そこで, ChLCの双安定性を利用する動作方法を考案し検証した.

ChLCの閾値は, 液晶材料の誘電率, 誘電率異方性, 弾性率, 添加材料などで制御できる. そこで, 表示層全体にかかる電圧に対して, 3層のChLCの閾値を図5のようにシフトさせておく. そしてまず, 電圧 $V_e \sim V_g$ の1個の閾値で駆動し, 次に電圧 $V_a \sim V_d$ の1個の閾値で駆動する. 例えば, まず V_f で駆動しChLC 1, ChLC 2をオン, ChLC 3をオフにし, 次に V_b で駆動することで, オンであるChLCのうちChLC 1のみをオフにし (ChLC 2, ChLC 3は前の状態を維持), 結果的にChLC 2のみを選択的にオンにできる. 同様に, 選択する2種類の電圧の組み合わせを変えることで, 各ChLC層の反射状態を独立に選択制御できる. これまでに, 表示層のみを電極間に積層したサンプルで検証実験を行い, 8色のカラー表示が可能であることを確認した³⁾.

現在は, カラー表示層と光導電層を組み合わせた媒体の検討を行っている. 光導電層には, モノクロ表示に比べより大きく多段的な駆動能力が要求されるため, 光導電材料の特性改善や表示層とのマッチング検討を行っている. ま

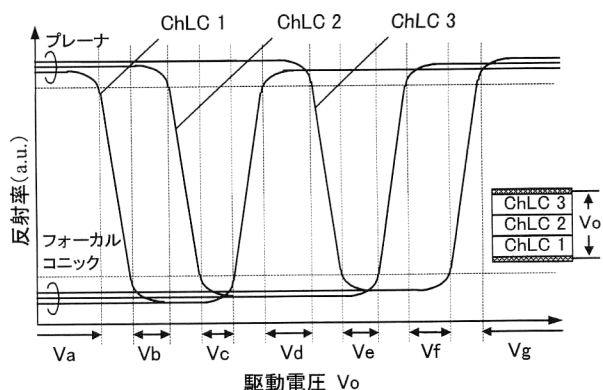


図5 カラー表示原理.

た, 表示層では, カラー表示に適する積層構成の検討や, 積層表示層を作製するプロセスの開発を行っている.

光書き込み電子ペーパーの概要を紹介した. 試作したモノカラー表示媒体では, 0.2秒の高速書き換え, 薄型軽量フレキシブルという紙のような形態, コントラスト8の反射型メモリー性表示など, 多くのユニークな特長を示した. また, カラー表示では, 8色カラー表示の基本原理について述べた.

今後は, フレキシブルなカラー電子ペーパーの実現と, 商品化開発を進めていく予定である.

文 献

- 1) 小林英夫, 柿沼武夫, 小清水実, 原田陽雄, 有澤 宏: “有機光スイッチング素子の光書き込み型電子ペーパー媒体への適用”, 第47回応用物理学関係連合講演会 (応用物理学会, 2000) p. 998.
- 2) 有澤 宏, 小林英夫, 小清水実, 柿沼武夫, 原田陽雄, 丸山耕司, 馬場和夫: “コレステリック液晶を用いた電子ペーパー—有機感光体による光画像書き込み—”, *Japan Hardcopy 2000* (The Imaging Society of Japan, 2000) pp. 89-92.
- 3) 原田陽雄, 氷治直樹, 津田大介, 有澤 宏: “コレステリック液晶を用いた電子ペーパー—積層型カラー表示層の外部電極制御—”, *Japan Hardcopy 2000* (The Imaging Society of Japan, 2000) pp. 93-96.

(2003年7月10日受理)