

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月24日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究（c）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560346

研究課題名（和文）アンカリング力制御による光書き込み・消去型液晶電子ペーパーの創製

研究課題名（英文）liquid crystal electric paper with optically writing and erasing mode caused by anchoring change

研究代表者

山口 留美子（Yamaguchi Rumiko）

秋田大学・大学院工学資源学研究科・准教授

研究者番号：30170799

研究成果の概要（和文）：

液晶配向膜のアンカリング力（配向規制力）を変えることにより、電圧無印加状態でモノクロ表示が可能となる液晶ペーパーの創製を目指した。ポリビニルシンナメート膜のアンカリング力を光で制御することにより、書き込みおよび光消去を可能としたが、再書き込みを行うには至らなかった。液晶分子の配列状態と表示特性の数値解析を行い、面積階調による擬似中間調表示特性が優れている配向分割のモードを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

I have studied a liquid crystal paper which can display monochromatic image by controlling an anchoring strength of a alignment film without an applying voltage. We use a polyvinyl-cinnamate as an alignment film material and can optically write and erase by changing the anchoring strength, however not re-write. I have also numerically analyzed a liquid crystal orientation and transmission distribution. Properties of area coverage modulation are discussed and a suitable multi domain mode is clarified.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,040,000	4,640,000

研究分野：電子ディスプレイ

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：アンカリングエネルギー、架橋性高分子、液晶、異性化高分子、配向分割、配向膜

1. 研究開始当初の背景

電子ペーパーは、書き換え時に微力のエネルギーを使うだけで表示中の電力が不要であり、丸めることもできる次世代の携帯型ディスプレイである。液晶を用いた電子ペーパーにおいては、電圧印加による表示状態を電圧除去後も保持するタイプと、配向膜を制御

し表示を行うタイプに大別できる。これまでに報告されている後者のタイプは、直線偏光を用いて配向膜表面に何らかの異方性を発現させ、その上に接触する液晶分子長軸を特定の方に配向させる技術を用い、この配向容易軸を部分的に変えることで表示を可能としている。

2. 研究の目的

本研究の最終的な目的は、光書き込み・光消去方式による液晶電子ペーパーの創製である。表示原理として、液晶分子配向膜のアンカリング力（配向規制力）を変え、図1に示すようなバルク中の液晶配列状態を制御する手法を提案する。アンカリング力が強い部分は電圧無印加の、アンカリング力が弱い部分は電圧印加のものと同様な表示特性が得られることになる。

加えて液晶分子の配列状態と表示特性のシミュレーション解析によって、本表示方式における素子パラメータと表示性能の関係を明らかにすることを目的とする。透過（反射）特性、視野角特性、波長特性などの表示性能に関するシミュレーションを行い、本表示方式に必要なアンカリング力の可変範囲、液晶側に要求される物性値との関係、書き込みの空間分解能等を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 光機能性材料を用いた配向膜作製とアンカリング評価

光機能性材料として、開環・閉環転換、シス・トランス転換等の光異性化分子から開始する。液晶との溶解性が高い材料に関しては、従来使用されている配向膜用の高分子材料に溶解して用いることも検討する。作製した薄膜の吸収スペクトルを測定し、異性化に用いる波長を明らかにする。図1に示すように、液晶分子配列のねじれ角変化を観察し測定を行う。方位角アンカリング力の定量的評価は、トルクバランス法を用いて行う。

(2) 液晶分子配列シミュレーション

フランクの弾性体理論にもとづき、液晶セル内の単位堆積あたりの弾性ひずみエネルギーを算出し、この値が最小となるような液晶分子配列状態を数値解析的に求める。このときの境界条件、すなわち液晶セルの基板界面条件として、有限なアンカリング力を設定する。アンカリング力がストライプ状に分布している場合から始め、最終的には3次元分布まで拡張する。

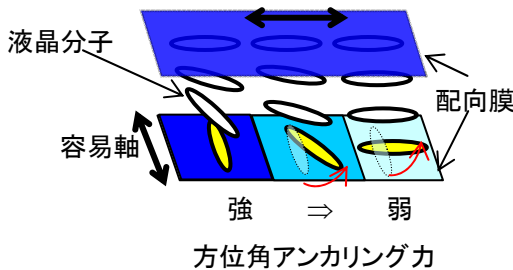


図1 方位角アンカリング力と液晶配向モデル

4. 研究成果

(1) 光機能性材料を用いた配向膜作製

①室温を挟んで光異性化によりガラス転移温度が変化する材料であるジアリールエテンを用い、アンカリング制御が可能な液晶配向膜としての評価を試みた。この材料をガラス基板上に薄膜化し、ラビングを行い、液晶を封入したが、液晶中に溶解したため、配向膜として用いることが困難であった。液晶中に溶解し、紫外線および可視光（550nm付近）の照射により光異性化が可能であることを確認した。フォトクロミック効果による光書き込み、および光消去が可能であった。

②ポリビニルシナメート（PVCi）膜の架橋反応によるアンカリング力制御において、図1のようなアンカリング力分布を作り出すことで、図2のような実際の液晶素子が作製できる。これをもとに、光書き込みを行い、さらに UV 照射を過剰照射することで消去を行った（図2）。このとき、光書き込み特性には液晶材料依存性がないことを確認した。しかし、光消去が可能な液晶と不可能な液晶材料があった。消去不可能な液晶材料に、UV 光に吸収を持つ液晶材料（T15）を混合することにより、消去可能な素子を作製することができる（図4(a), (b)）。紫外線照射による励起状態となった液晶が配向膜界面を改質していることが推測される。さらに、液晶材料が吸収した UV エネルギーを散逸する過程導入した。すなわち UV 照射による液晶分子の発光スペクトルに吸収を持つ蛍光材料（BBOT）をクエンチャーとして添加した。これにより、図4(c)に示すように、再び消去不可能な液晶素子となることを明らかにした。

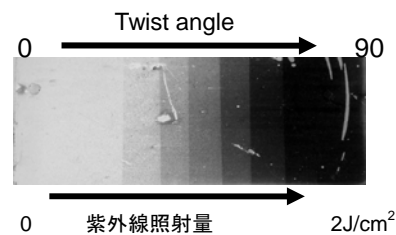


図2 UV 照射によるアンカリング制御光書き込み

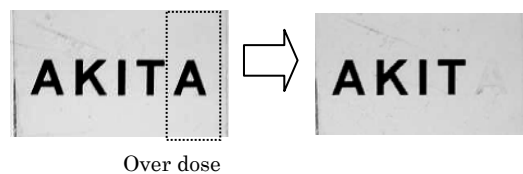


図3 UV 照射による光消去

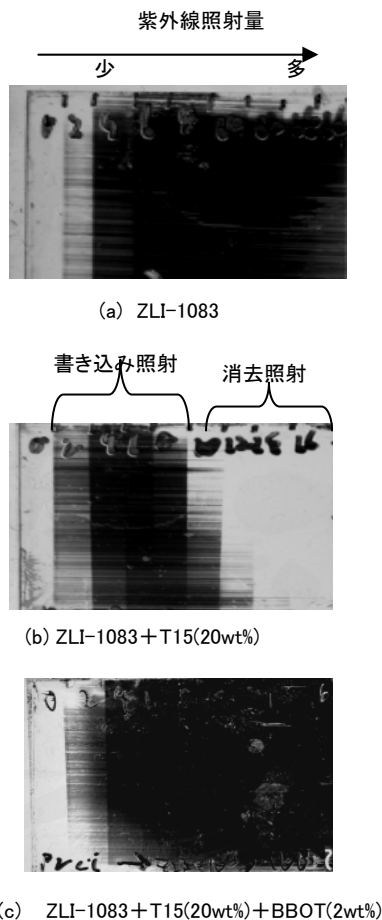


図4 PVCi 配向膜を用いた光書き込み消去特性の液晶材料による制御

③薄膜上における液晶配向アンカリング力評価：ジアリールエテン異性化により電気光学特性が変化することを明らかにしたが、これはアンカリング力変化よりも液晶物性値の変化によるところが大きいと推測される。

(2) 液晶分子配列シミュレーション
 フランクの弾性体理論とラフェニの表面アンカリングエネルギー理論にもとづき、有限なアンカリング力での液晶分子配列状態を数値解析的に求めるシミュレーションプログラムを構築した。ストライプパターンの配向分割をモデルとし、液晶の3種類の弾性定数をすべて等しいものと仮定したときの、分子配列状態算出した。向分割、いわゆる表示が可能となるためのアンカリング力と分割(表示)分解能の関係を数値解析的に明らかにすることができた。

①TN・ホモジニアス配向分割液晶素子における配向分布および透過率シミュレーション

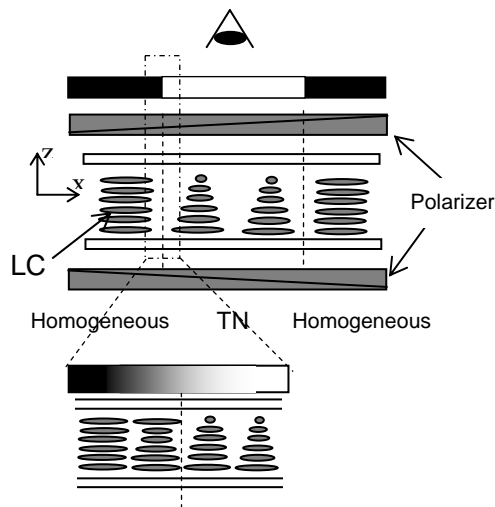


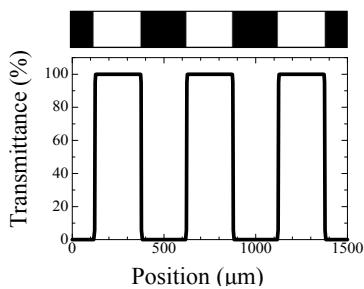
図5 TN・ホモジニアス配向分割液晶配列の模式図

2種類の配向が形成されている液晶素子を2枚の直交する偏光板に挿入することで白黒(TN・ホモジニアス)の2値画像が得られる。通常のTN表示素子の電圧印加部分が黒表示になるブラックオンホワイトモードに相当する。90°TN・ホモジニアス配向分割境界付近では、基板上的液晶分子を除くバルク中において液晶分子の配向が連続的になるようその分布を変化させ、ねじれ弾性ひずみを減少させる。したがって、画素境界付近での偏光状態も連続的に変化することとなり、グレー表示部分が出現することとなる。

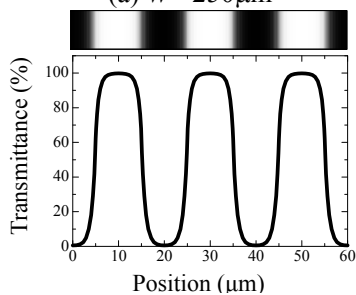
屈折率異方性 Δn は1stおよび2ndモーガン条件($m=1,2$)を満たすよう $d=5\ \mu\text{m}$ では1stで $\Delta n=0.09613$, 2ndで $\Delta n=0.21495$, $d=10\ \mu\text{m}$ では1stで $\Delta n=0.04806$, 2ndで $\Delta n=0.10748$ とした。初めに、50%透過率の中間調表示の検討を行った。すなわち90°TN・ホモジニアス配向のライン幅を等しく設定しFig. 3(a), (b), (c)は、セル厚 $5\ \mu\text{m}$, 1stモーガン条件において、ライン幅 W を変えたときの透過率分布(各ライン3本分)である。透過率分布に対応したモノクロ表示も併せて示す。ライン幅が $10\ \mu\text{m}$ に減少すると、各ラインのエッジ付近では透過率がなめらかに変化する。ライン幅が $2.5\ \mu\text{m}$ のときTNラインにおいては最大透過率が80%まで減少し、ホモジニアスラインでは30%まで増加する。従って、平均の透過率は、ライン幅 $10\ \mu\text{m}$ で50.7%, ライン幅 $2.5\ \mu\text{m}$ で56.5%となった。

② $\pm 45^\circ$ TN 配向分割液晶素子における配向分布および透過率シミュレーション

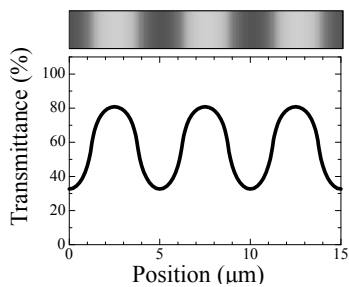
TN・ホモジニアス配向分割ではストライプ間でのひずみエネルギーの差が大きいため、2つのドメイン間での遷移領域が広くなり、中間表示と面積階調の線形成が悪くなると考えられたため、 $\pm 45^\circ$ TN 配向分割(図7)の解析を試みた。図8に示すように、ライン幅が $10\ \mu\text{m}$ よりも小さくなくても、 $\pm 45^\circ$ TN 配向分割では比較的 50%に近い透過率を得られていることがわかる。



(a) $W=250\ \mu\text{m}$



(b) $W=10\ \mu\text{m}$



(c) $W=2.5\ \mu\text{m}$

図6 ライン幅 W を変えたときの透過率分布

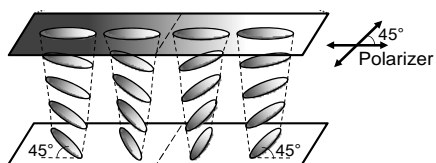


図7 $\pm 45^\circ$ TN 配向分割液晶配列の模式図

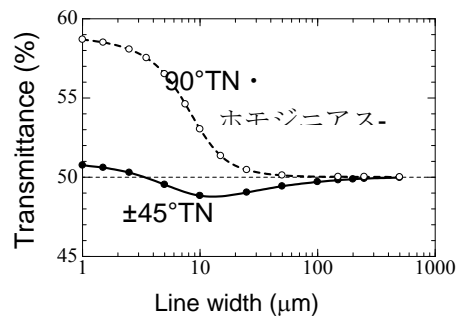


図8 50%面積階調におけるライン幅と透過率の関係

また、液晶素子の透過率には波長依存性があるため、白色光の透過率も素子のパラメータによっては透過光に色づきが生じることがある。

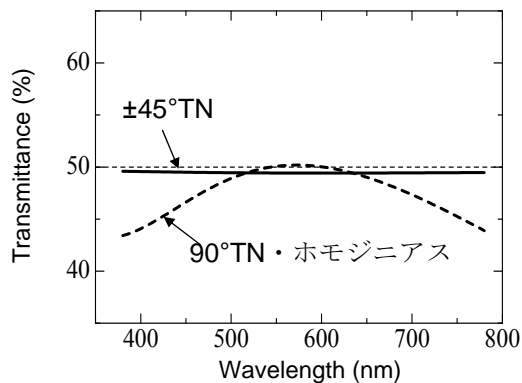


図9 50%面積階調における透過率スペクトル

図9に示すように、TN・ホモジニアス配向分割液晶素子では青と赤の領域の透過率が減少するが、 $\pm 45^\circ$ TN 配向分割液晶素子では、可視光全般でほど一定の透過率が得られており、入射光の色彩がほとんど変化することなく 50%中間調が得られることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

1. Gvozдовskyy I., Yaroshchuk O., Serbina M., and Yamaguchi R. “Photoinduced helical inversion in cholesteric liquid crystal cells with homeotropic anchoring” *Optics Express*, Vol.20, p.3499-3508. (2012)
2. Tomylkoa, S., Kovalchuka, O., Yaroshchuka, O., Maschkeb, U. and Yamaguchi, R. “Dielectric and Electro-Optical Properties of Liquid Crystals Doped with Diamond Nanoparticles” *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, Vol.541, p.35-43 (2011).
3. Yamaguchi, R. and Sato, S. “Liquid Crystal Material Dependence on Rubbed PVCi Alignment Properties”, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, Vol.516, p.32-37(2010).
4. Yamaguchi, R. and Xiong, L. “Reverse Mode Liquid Crystal Gels with Twisted Orientation”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.49, p.060203-1-3(2010).
5. Honma, M., Nose, T., Yanase, S., Yamaguchi, R. and Sato, S. “Liquid-Crystal Blazed Gratings with Spatially Distributed Pretilt Angle”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 49, p. 061701-1-4 (2010).
6. Yamaguchi, R. and Ogura, M. “Photostability Evaluation of Liquid crystal Cell under a Focused Blue-Violet Laser Beam”, *Journal of Photopolymer Science and Technology*, Vol. 22, No. 4, p. 533-536 (2009).
7. Yamaguchi, R., Ogura, M. and S. Sato “Photo-Degradation Properties of Liquid Crystal Cell Using Focused Blue-Violet Laser Beam”, *Molecular Crystals and Liquid crystals*, Vol. 507, p. 51-55 (2009).
8. Ohzono, T., Monobe, H., Yamaguchi, R., Shimizu Y. and Yokoyama, H. “Dynamics of surface memory effect in liquid crystal alignment on reconfigurable microwrinkles”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 95, p. 014101-1 -3 (2009).
9. Honma, M., Nose, T., Yanase, S., Yamaguchi, R. and Sato, S. Susumu Sato “Liquid-crystal variable-focus lenses with a spatially-distributed tilt angles”, *Optics Express*, Vol.17, p.10998-11006 (2009).

[学会発表] (計 15 件)

1. 山口留美子, 西村宗仁, 後藤広一朗 “リバースモード素子における液晶分子再配向と光学特性” 電子情報通信学会 2012 年総合大会講演論文集, C-9-3, p.442012 (2012).
2. 山口 留美子, “環構造側鎖を有するラビング高分子膜上の液晶配向特性” 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 17p-GP9-6, p.12-137 (2012).
3. Yamaguchi, R. “Relationship between liquid crystal materials and in-plane easy axes on rubbed polymer surfaces (invited)”, The 14th Topical Meeting on the Optics of Liquid Crystals, I-26 (2011).
4. Yamaguchi, R., Goto, K. and Yaroshchuk, O. “Polarizer Free Reverse Mode Liquid Crystal Gels with Super Twisted Orientation (invited)”, The 11th International Meeting on Information Display, 12-1, p.86-7 (2011).
5. 山口留美子, 徳田恭平 “ツイステッドネマチック・ホモジニアス液晶配向分割による面積階調表示特性の数値解析” Imaging conference Japan 2011 画像学会, B-38 p.357-360 (2011).
6. 山口留美子, 池谷正輝 “ネマチック液晶材料によるポリビニルシナメート配向膜の容易軸制御 電子情報通信学会技術研究報告”, 発光型/非発光型ディスプレイ合同研究会, Vol.110, No.404, p.79-82 (2011).
7. Yamaguchi, R. “Numerical analysis of threshold anchoring strength in twist-homogeneous oriented liquid crystal grating” The 22nd International Liquid Crystal Conference, P-2.43, p.384 (2010).
8. Yamaguchi, R. “Change of alignment surface by photo-excited liquid crystal molecules”, The 22nd International Liquid Crystal Conference, P-1.136, p.198 (2010).
9. Yamaguchi, R. “Selection of Easy Axis by Liquid Crystal on Rubbed PVCi Surface”, 17th International Display Workshops, LCTp2-10L, p. 107-8 (2010).
10. Yamaguchi, R. “Security applications of liquid crystal film with plural latent images (invited)”, SPIE Photonics West 2009-OPTO, Vol.7232, p.72320Q-1-8 (2009).

11. Yamaguchi, R. and Ogura, M. “Photo-Degradation and Detection in Liquid Crystal Cells Using Focused Laser Beam (invited)”, The 17th Active-Matrix Flatpanel Displays and Device, 4-1, p.53-4 (2009).

12. Yamaguchi, R. and Ogura, M. “Photostability Evaluation of Liquid crystal Cell under a Focused Blue-Violet Laser Beam”, The 26th Conference on Photopolymer Science and Technology, B4-09, p.533-6 (2009).

13. Yamaguchi, R. and Ogura, M. “Real Time Detection of Photo Degradation in Liquid Crystal Cells (invited)”, The 13th JPN-KOREA Int. Symp. on Advanced Display Materials and Devices 2009, ADMD 2009, SII-8, P.51. (2009).

14. Yamaguchi, R. and Xiong, L. “Enhanced Optical Properties in Reverse Mode Polymer Dispersed Liquid Crystals with Super Twisted Nematic Orientation”, The 13th Topical Meeting on the Optics of Liquid Crystals, O30 (2009).

15. Yamaguchi, R. and Xiong, L. “Reverse Mode Polymer Dispersed Liquid Crystals with Twisted Orientation”, 16th International Display Workshops, LCTp4-5L, p.1034 (2009).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 留美子 (Yamaguchi Rumiko)

秋田大学・大学院工学資源学研究科・准教授

研究者番号：30170799