

令和元年9月11日現在

機関番号：82723

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18893

研究課題名(和文)屋外用ディスプレイに向けた反射型液晶表示技術の新しい原理・手法の提案

研究課題名(英文) Proposal of the method for outdoor reflective displays based on cholesteric liquid crystals

研究代表者

井上 曜 (Inoue, Yo)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・電気情報学群
・講師

研究者番号：30723770

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文):本研究は、コレステリック液晶の帯域反射特性を利用した屋外用反射型ディスプレイの実現を目指す研究テーマである。研究期間内では主に、コレステリック液晶の高速な反射バンド制御と、無偏光の光に対する50%を超える反射率を実現した。前者では、螺旋軸に対して不均一な横電界を印加することで、300 nmに渡る広い反射バンド波長制御と、サブミリ秒オーダーの高速スイッチングが実現された。後者では、正弦波状の螺旋構造を歪めることで、反射特性の偏光依存性を除去し、反射率の改善を行った。また、未完成ながらも将来的に期待できる技術として、蜂の巣に似た高分子構造を形成する高分子液晶複合系の作製技術の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、デジタルサイネージ(屋外や店頭などに設置される案内・広告用ディスプレイ)の需要が高まり、反射型液晶ディスプレイ技術への期待が高まってきた。これは、屋外のような太陽光(外光)が多く存在する空間において、反射を利用したディスプレイの方が原理的に鮮やかな画像を表示できるためである。本研究は、コレステリック液晶と呼ばれる光を反射する性質を示す材料を用いて、反射型液晶ディスプレイを実現することを目的とした研究である。期間内の研究成果において、反射型ディスプレイの実現までには至らなかったが、今後期待できるいくつかの根幹技術を提案することが出来た。

研究成果の概要(英文):The possibility of cholesteric liquid crystals (ChLCs) for outdoor reflective displays is investigated. In this study, the fast switching of the reflection band and the reflectance greater than 50% in ChLCs are demonstrated. In the former, broadband tuning of the reflection band covering the wavelength range of approximately 300 nm and the fast switching on the order of submillisecons are achieved by applying the inhomogeneous electric field normal to the helix axis. In the latter, the selectiveness on the polarization can be removed by deforming the sinusoidal helical structure, resulting in the improvement of the reflectance. Furthermore, the formation method of polymer-LC composites with honeycomb-like structure is proposed. This technology is expected to be used for reflective displays in the future.

研究分野：液晶デバイス

キーワード：反射型ディスプレイ コレステリック液晶

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、デジタルサイネージ(屋外や店頭などに設置される案内・広告用ディスプレイ)の需要が高まり、反射型液晶ディスプレイ技術への期待が高まってきた。これは、屋外のような太陽光(外光)が多く存在する空間において、反射を利用したディスプレイの方が原理的に鮮やかな画像を表示できるためである。従来の透過型液晶ディスプレイの場合、バックライトからの光が液晶デバイスを透過することで、画像情報を得た光となり、人間の目に入ることになる。しかしながら、屋外においては太陽光などの外光が液晶デバイスのガラス端面で反射し、目に入ることで画像が白くぼやける。多くの人が、屋外でスマートフォンを利用したときに、太陽光の反射により画面が見づらくなる経験をしたことがあると思われるが、これは現在主流の透過型ディスプレイの内在的な欠点である。一方で、外光を照明として利用する反射型ディスプレイでは、反射光自体に画像情報が含まれているのでこのような問題は発生しない。本研究は、コレステリック液晶と呼ばれる光を反射する性質を示す材料を用いて、反射型液晶ディスプレイを実現することを目的とした研究である。

2. 研究の目的

反射型ディスプレイを実現する上で重要になる特性は以下の6点である。①電氣的に反射する光の強度、あるいは光の波長が選択できる機能を持つ。②電気スイッチングの応答時間がミリ秒オーダーであること。③可逆的な電気応答であること。④駆動電圧が10V以下であること。⑤視野角特性の改善。⑥反射強度の改善。コレステリック液晶を用いた素子においてこれらの特性の実現の可能性を検討する。

3. 研究の方法

上述の6項目に関係する研究の実施例を以下に列挙する。

(1)電極幅10 μm 、電極間幅10 μm のくし型電極基板にプラナー配向処理を施し、10 μm のセルギャップを持つサンドイッチセルを作製した。コレステリック液晶は、ネマティック液晶(Merck, BL006)にキラル剤(LCC, DDS-1015R)を7.8%添加することで作製された。サンドイッチセルにコレステリック液晶を注入し、50 kHzの矩形波交流電界を印加したときの反射スペクトルの測定と顕微鏡観察を行った。

(2)ポリイミドが塗布された二枚のガラス基板を用いて、30 μm のセルギャップを持つサンドイッチセルを作製した。片側の基板にはラビング処理が施されているが、もう一方の基板にはラビング処理が施されておらず、方位角方向のアンカリングはフリーな界面が用いられた。また、スペーサーとしてアルミホイルを用いることで、横電界を印加することを可能にし、電極間幅は90 μm とした。作製された素子に、螺旋周期332 nmの左巻きコレステリック液晶(DIC, RDP-A3123CH2)を注入した。液晶セルに周波数20 kHzの矩形波交流電界を印加した時の反射顕微鏡像と反射スペクトルの測定を行った。このとき、左・右円偏光、及び無偏光の光をサンプルに照射し、測定を行った。

(3)ネマティック液晶(E7, LCC)に光重合性液晶(RMS12-014, Merck)を10 wt%ドープした液晶材料を用意した。液晶材料を水平配向処理が施されたITO電極付きサンドイッチセル(素子厚さ700 μm)に注入し、液晶材料の相転移温度より0.5 $^{\circ}\text{C}$ だけ低い温度で紫外線を照射することで重合相分離を引き起こした。そのときの高分子の構造を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。

4. 研究成果

以下に(1-3)で得られた研究成果の概要を示す。それぞれの研究成果は各文末に示される学術雑誌、あるいは研究発表にて報告されている。

(1) 図1に電界印加後の時間経過に対する液晶素子の顕微鏡観察像を示す。電界印加前($t=0\ \mu\text{s}$)の反射色は赤色であったが、電界印加後は時間経過とともに黄-緑と変化した。図2に電界印加後の時間経過に対する反射スペクトルを示す。 $t=0\ \mu\text{s}$ においては595~680 nmにあった反射バンドは、時間経過とともに広がり、 $t=833\ \mu\text{s}$ では反射バンドは520~820 nmに広がり、バンド幅は元の3倍以上に増加した。これは、くし型電極が作る横電界の強度が、素子厚さ方向に分布を持つことに起因していると考えられる。一般的に、螺旋軸に対して垂直な電界を印加すると、螺旋ピッチが伸びることが知られている。本実験で用いられた素子構造においても、螺旋軸に垂直な電界成分が与えられる。しかしながら、その電界成分は電極がコートされている基板付近の電界強度は強く、一方で対向基板付近の電界強度は弱い。このことから、電極がコートされた基板付近において螺旋ピッチは増加し、ガラス基板付近では螺旋ピッチは減少したと考えられる。反射バンド幅 $\Delta\lambda$ は複屈折 Δn と螺旋ピッチ p を用いて $\Delta\lambda = \Delta np$ で与えられるため、螺旋ピッチの分布の形成に伴ってバンド幅が増加した。

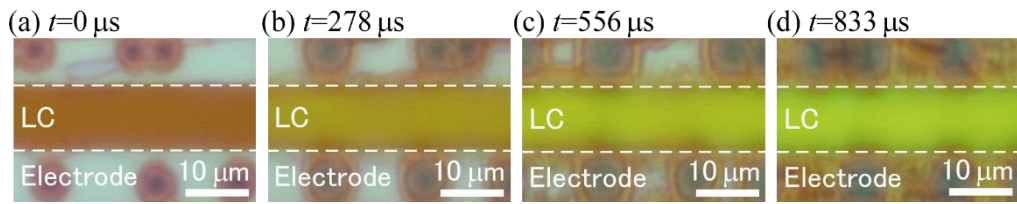


図 1 顕微鏡像の時間発展

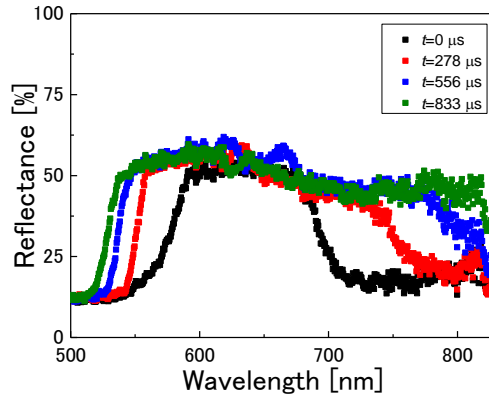


図 2 反射スペクトルの時間発展

(2) 図 3 に左円偏光、及び右円偏光照射時の反射顕微鏡像を示す。左円偏光の場合、 $0 \text{ V}/\mu\text{m}$ において、青色の反射が得られ、電界強度の増加とともに緑-黄色とレッドシフトすることがわかった。一方、右円偏光を照射時には、 $0 \text{ V}/\mu\text{m}$ において反射色は見られなかったが、電界強度の増加とともに呈色し、 $0.92 E_c$ では鮮明な赤色の反射を示した。ただし、 E_c は螺旋消失電界である。本来、無偏光の光を 50%以上反射することができないコレステリック液晶であるが、図 3 の電界強度 $0.92 E_c$ においては反射率 70%を示し、反射強度の改善が実現された。

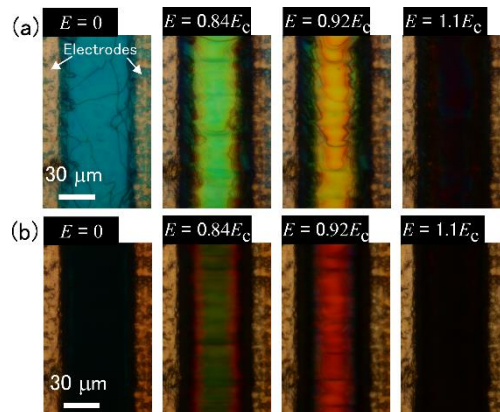


図 3 反射顕微鏡像:(a)左円偏光照明、(b)右円偏光照明

関連学会発表 [Yo Inoue et al.](#), “Enhanced reflection in cholesteric liquid crystals” 27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018)

(3) 図 4 に各温度で重合された高分子構造の SEM 像を示す。温度 30°C (液晶相)において重合された素子では、液晶が満たされていた空孔 (液晶ドロップレット)の平均サイズが約 160 nm であり、細密な構造が形成された。また、温度 70°C (等方相)において重合された素子では、液晶ドロップレットの平均サイズが約 269 nm であり、細密な構造が形成された。一方で、温度 59°C (相転移近傍温度)にて重合された素子では、他の二つの素子に比べて大きな液晶ドロップレットが形成され、その平均直径サイズは $3.3 \mu\text{m}$ であった。また、蜂の巣に似た高分子構造を形成することも特徴的である。

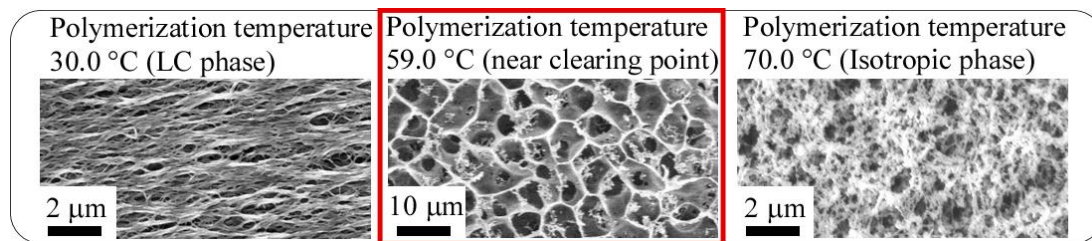


図4 各重合温度での高分子構造の SEM 像

この相転移近傍温度における光重合相分離を利用した高分子構造の制御手法は、コレステリック液晶に適用することで、反射型ディスプレイを実現する上で重要な特性①から⑤までを満たす技術に発展しうる可能性を秘めているが、研究期間内に実現するに至らなかった。

関連論文 Yo Inoue et al., *Macromol. Mater. Eng.*, **304** (2019) 1800766. (selected as the back cover)

研究成果のまとめ：

(1)で得られた高速反射バンド波長スイッチングの技術は、研究目的の欄で述べられた反射型ディスプレイを実現する上で重要な特性①②③を実現した。(2)で得られた電気光学効果は、重要な特性①③⑥を実現した。(3)の研究成果は、反射型ディスプレイに直接的な関与はしていないが、その根幹技術の部分を担当しており、今後の研究によって、特性①②③④⑤を同時に満たす可能性のある興味深い研究成果であるといえる。

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2件)

- ① Yo Inoue, Mayo Hattori, Hitoshi Kubo, and Hiroshi Moritake
“Faster pitch control of cholesteric liquid crystals”
Jpn. J. Appl. Phys., vol. 56, p. 080302 (3 pages), July, 2017.
<https://doi.org/10.7567/JJAP.56.080302>
- ② Yo Inoue, Hitoshi Kubo, Tateaki Shikada, and Hiroshi Moritake
“Ideal Polymer-LC Composite Structure for Terahertz Phase Shifters”
Macromol. Mater. Eng., vol. 304, p. 1800766, February, 2019.
10.1002/mame.201800766
(selected as the back cover)

[学会発表] (計5件)

- ① Yo Inoue and Hiroshi Moritake (**Invited Oral Talk** 10555-13, January 29, 2018)
“Higher reflectance in cholesteric liquid crystals”
SPIE Photonics West 2018, The Moscone Center, San Francisco, California, United States
27 January – 1 February 2018.
- ② Yo Inoue, Yusuke Shiozaki, and Hiroshi Moritake (Oral Presentation 1-E-16, July 23, 2018)
“Enhanced reflection in cholesteric liquid crystals”
27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018), Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan 30 July – 27 July 2018.
- ③ 井上曜、森武洋 (ポスター発表 PA35, 2017年9月13日)
「左・右円偏光を反射する二つのバンドを形成するコレステリック液晶」
2017年日本液晶学会討論会 弘前大学 文京町キャンパス 2017年9月13~15日
- ④ 井上曜、塩崎祐介、森武洋 (口頭発表 20a-A204-1, 2018年3月20日)
「電気的変歪が与えられた螺旋液晶の反射特性」
第65回応用物理学会春季学術講演会 早稲田大学 2018年3月17~20日

- ⑤ 井上曜、久保等、鹿田建普、森武洋 (口頭発表 10a-M136-8, 2019 年 3 月 10 日)
「高分子分散型液晶を用いた高速スイッチング可能なテラヘルツ移相器」
第 66 回応用物理学会春季学術講演会 東京工業大学大岡山キャンパス 2019 年 3 月 9~12 日

6. 研究組織

(1)研究代表者

井上 曜 (INOUE YO)

防衛大学校・電気情報学群・講師

研究者番号 : 30723770