

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04257

研究課題名(和文)新規光散乱メカニズムによる高分子・液晶複合系リバースモード素子の低電圧駆動化

研究課題名(英文)Low driving voltage by novel light scattering mechanism in polymer composite liquid crystal device

研究代表者

山口 留美子(Yamaguchi, Rumiko)

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号：30170799

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：液晶中に3～10%程度の反応性メソゲン基を有する異方性高分子を分散させ、透明状態から光散乱状態への電氣的切り替えを可能とするリバースモード素子において、低電圧駆動化(~6 V)を目指した。従来の“高分子・液晶間の屈折率差による光散乱”の他に、“液晶ドメイン間での光散乱機構”を導入し、光散乱強度を低減することなしに、駆動電圧を低減することに成功した。新たな光散乱機構を取り入れたシミュレーションモデルも構築できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大小の液晶ドメインの再配向電圧の違いに着目し、“液晶ドメイン間での光散乱機構”を導入することで、光散乱強度を損なうことなく、駆動電圧の低減に成功した。従来の“高分子・液晶間の屈折率差による光散乱”機構と比較し、新規な光散乱機構の導入は駆動電圧を約半分まで低減できることを、数値解析的に明らかにすることができた。リバースモード液晶素子は、スマートウインドウとして期待されているが、光散乱状態をプロジェクトアスクリーンとして用いることで、透明ディスプレイにも応用可能である。

研究成果の概要(英文)：Driving voltage of a reverse mode liquid crystal devices in which an anisotropic polymer with a reactive mesogen group of about 3 to 10% is dispersed in the liquid crystal was successfully reduced without reducing the light scattering intensity. A "light scattering mechanism between the liquid crystal domains" was introduced in addition to the conventional "light scattering due to the difference in refractive index between the polymer and the liquid crystal". A simulation model incorporating a new light scattering mechanism was also constructed. Applied voltage of 5 V made it possible to electrically switch from the transparent state to the light scattering state in the liquid crystal devices.

研究分野：光デバイス

キーワード：高分子複合液晶 反応性メソゲン 光散乱 低電圧駆動 リバースモード スマートウインドウ

1. 研究開始当初の背景

液晶中でモノマー分子を重合させて作製する高分子・液晶複合素子は、異方性溶媒での重合相分離過程とその構造に関する学術的興味、バルク中での液晶分子配列の結晶性安定化技術、電圧印加で光散乱特性の制御が可能な応用的見地、により基礎研究と素子開発の両面が精力的に行われている。光散乱特性においては、電圧印加により光散乱から透明状態へと変化する“ノーマルモード”に対し、透明から光散乱状態へと変化する“リバースモード”が提案されている。これまで、リバースモード液晶素子の光散乱は、液晶と高分子との屈折率差を原理とし、学術的な検討と素子特性の向上がはかれてきた。しかし、電圧印加による液晶分子の再配向はバルク中に分散した高分子に妨げられるため、両者間に十分な屈折率差を発現させるための電圧は必然的に高い(~数十V)。これまでの低電圧駆動化に関する学術的取り組みは、主に種々の高分子材料と重合反応条件、相溶性とバルク中の相分離構造(モフォロジー)の関係、を明らかにすることで検討されてきた。

2. 研究の目的

我々は、ある種の化学構造を有する液晶材料群が非常に低いしきい電圧を示すことを見出しており、これらの液晶材料の誘電異方性 $\Delta\epsilon$ は、一般的な値よりもかなり低いことから、低電圧駆動化には新しい光散乱機構の提案が必要となった。そこで、従来の「高分子-液晶間」の屈折率差による光散乱機構に対し、「大小の液晶ドメイン間」の屈折率差による光散乱機構を新たに導入しすることを目指した。

3. 研究の方法

低電圧駆動となる特徴的な高分子モフォロジーは、図1に示すような大小液晶ドメインを構成している。高分子モフォロジーを作製することで、大小の液晶ドメイン間の屈折率差による光散乱機構による駆動電圧の低減が可能となると予想している。これを以下の2つの取り組みにより明らかにした。

I 高分子モフォロジーの制御技術の確立

これまでの研究より、重合速度が速い(紫外線強度が強い)と細かなモフォロジーが、遅い(弱い)と粗いモフォロジーができることがわかっている。そこで、素子の深さ方向での紫外線強度分布の発現を試みる。深さ方向での制御は、紫外線波長の選択(Hgランプの各種輝線, UV-LED等), および液晶材料の紫外線吸収係数の異なる液晶材料の混合によって行う。さらに、面内方向での紫外線強度分布の発現を試みる。制御はフォトマスクを使用して、紫外線照射を行うことで実現する。

II 液晶ドメイン間での光散乱機構の解明

図2(b),(c)に示すように、単純な大小液晶ドメインモデルを立て、大小液晶ドメインの再配向状態を数値解析的に求める。そこから、静電容量と屈折率変化を算出する。これらを測定データと比較することで、モデルの検証と低電圧駆動化への寄与を検証する。

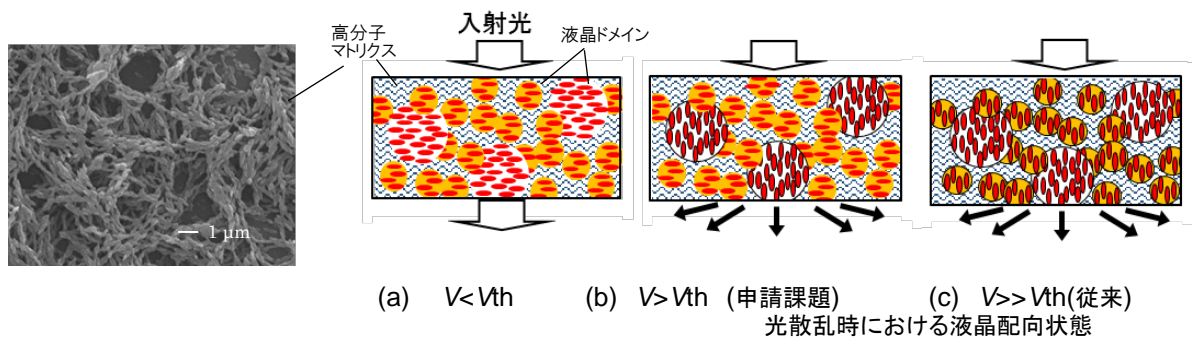


図1 モフォロジーSEM写真

図2 高分子・液晶複合素子のモデル図

4. 研究成果

I 高分子モフォロジーの制御技術の確立

I-1 素子の深さ方向での紫外線強度分布による大小液晶ドメインの作製
高分子の重合に用いるUV光源の波長領域(300-400nm)において、液晶の

吸収特性が異なる3種類の液晶を用い、素子を作製した。図3は、10 μm のセル厚における素子の透過率を示しているが、ZLI4792はほとんど液晶によるUV光の吸収がなく、MLC2053は約60%のUV光(UV-LED, 365nm)は素子内で液晶層により吸収されていることがわかる。したがって、MLC2053を用いたリバースモード素子では、相分離過程において、出射側基板付近では照射したUV光の強度は半分程度に減少していると考えられる。すなわち、素子内の液晶ドメインは、図4に示すように、入射側では小さく、出射側では大きくなると予想される。さらに、高圧水銀ランプによる315nmの輝線に関しては、E7もMLC2053もほとんど透過しない。相分離過程は、UV照射基板付近でのみ生じていると予想できる。315nm光の吸収の吸収係数に違いのある2つの液晶材料を適宜に混合し、素子内でのUV強度分布を制御した。その結果、図5に示すように315nmによる相分離では365nmと比較し、散乱強度は同程度で駆動電圧は半分程度にまで減少させることができた。これは、図4のモデル図に示すように、大ドメインの液晶が低電圧側で再配向するとき、小ドメインの液晶はまだ再配向しないが、その大小ドメイン間での屈折率差による光散乱が引き起こされていると予想でき、当初の目的が実現できていることが示唆された。

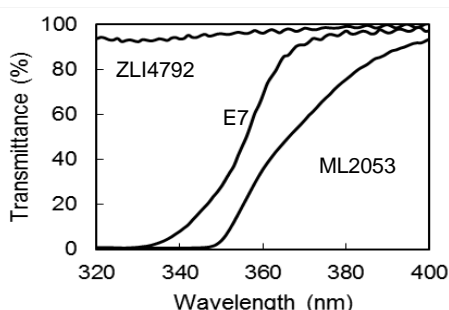


図3 UV transmission spectra of reverse mode cell.

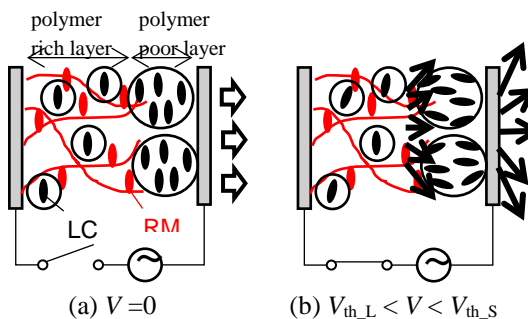
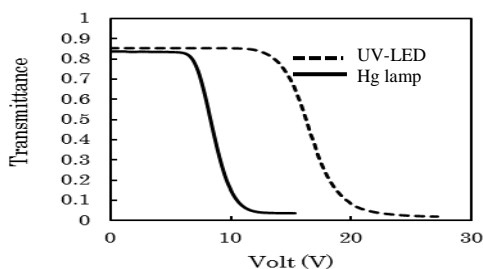
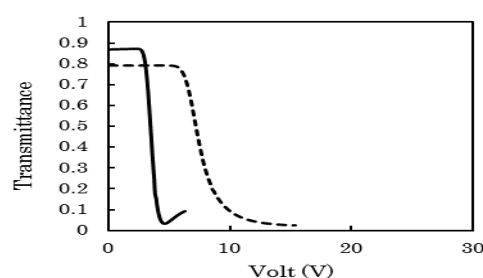


図4 Model of polymer structure with large and small LC domains.



(a) E7 : ZLI-4792=75 : 25



(b) MLC2053 : ZLI-4792=50 : 50

図5 Electro-optical properties in reverse mode cells using LC mixtures.

I-2 面内方向での紫外線強度分布による大小液晶ドメインの作製

フォトマスクを使用し、不均一なUV照射を行うことで大小の液晶ドメインを形成させることを試み、低電圧駆動化を行った。図6の示すように、ライン&スペースが5/5 μm , 10/10 μm , 20/20 μm , 50/50 μm のフォトマスクを用いて、1回目のUV照射を行なった。その後フォトマスクを外して2回目のUV照射を行なった。UV照射量は合わせて6J (UV-LED使用)とした。マスク下でのUV照射量は、多すぎても少なすぎても良好な電気光学特性は得られない。また、UVが照射されない部分における未反応な残留モノマーをなくすためにも2回目にマスクを外した状態でのUV照射が必要となる。

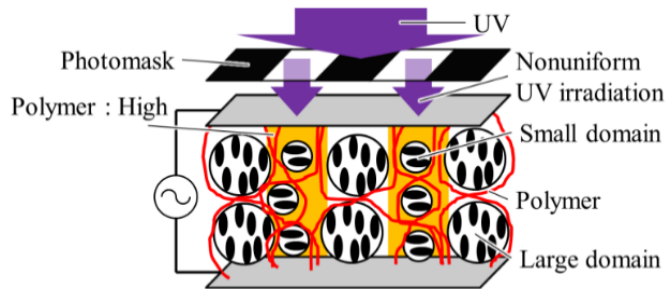


図 6 Schematic structure of reverse mode cell

1回目に0.5 J, 2回目に5.5 JのUV照射を行なった結果, 50 μmのフォトマスクを使用した場合に閾値電圧(V_{90})の低下が得られた。結果を図7に示す。1回目のUV照射におけるフォトマスク透過部分では、多くの高分子が凝集して液晶小ドメインが形成され、非透過部分では大ドメインが形成された為、液晶大ドメイン部分では V_{90} の低電圧駆動化に寄与し、ドメイン間の散乱によって動作電圧(V_{10})の低電圧駆動化も得られたと考えられる。また、不均一UV照射により高分子濃度勾配ができ、レンズ効果による光散乱で低電圧駆動化した可能性が考えられる。さらに、副次的な効果として、素子の機械的強度の増加傾向が得られた。190 kPaの圧力を与えた後のセルの写真を図8に示す。一様なUV照射で作製されたセルは損傷を受けたが、不均一UV照射で作製されたセルは透明状態を維持した。不均一UV照射によって多くの高分子が凝集した部分が、機械的強度の上昇に寄与していると考えられる。

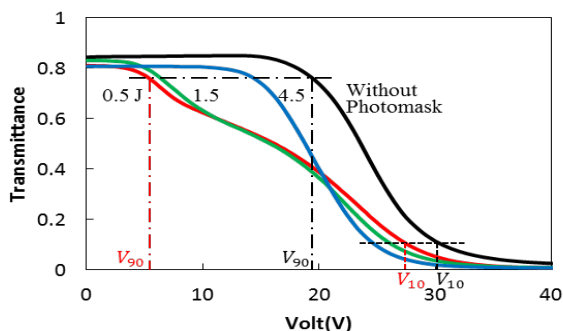


図 7 Electro-optical properties of reverse mode cell using E7

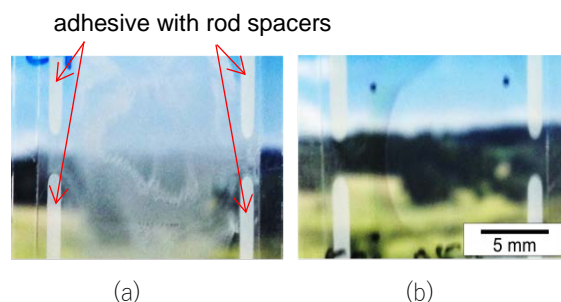


図 8 Photographs of the cell irradiated with (a) uniform and (b) nonuniform UV light, after providing mechanical stress.

II 液晶ドメイン間での光散乱機構の解明

複合誘電体において, Lichteneckerの対数則に基づく実効的な誘電率は(1)に示される。

$$\ln(\epsilon_{\text{eff}}) = \sum \rho_i (\ln \epsilon_i), \quad (1)$$

ρ_i と ϵ_i はそれぞれ混合物の体積分率と誘電率である。高分子と液晶の複合体であるリバースモード素子においては、高分子層、高分子表面に吸着されて電圧では再配向しない液晶層、大ドメイン内で再配向している液晶層、小ドメイン内で再配向している液晶層、この4つの層の複合体となるため、(2)のように表される。

$$\ln\{\epsilon(V)\} = \rho_p \ln(\epsilon_p) + \rho_{LC,L} \ln(\epsilon_{LC,L}) + \rho_{LC,L} \ln\{\epsilon_{LC,L}(V)\} + \rho_{LC,S} \ln\{\epsilon_{LC,S}(V)\}, \quad \rho_p + \rho_{LC,L} + \rho_{LC,L} + \rho_{LC,S} = 1. \quad (2)$$

図9は、液晶(MLC-2136)のみの電圧印加による誘電率変化と、MLC-2136に高分子を5wt%混合して作製したリバースモード素子の誘電率変化である。実線は、数値解析によって得られる理論曲線であり、この時液晶の比誘電率、弾性定数、誘電異方性の値が明らかとなる。これらの物性値を使用し、リバースモード素子における電圧—誘電率カーブを(2)式の複合誘電

体の対数則により求め、実測値とのフィッティングを行った。その結果を図10に示す。この時の体積分率は、大ドメインが0.40、小ドメインが0.46、また、それぞれのドメインでの液晶分子再配向のしきい電圧を、通常の液晶素子におけるしきい電圧の1.3及び2.0倍としたとき、実測値と非常に良い一致が得られた。

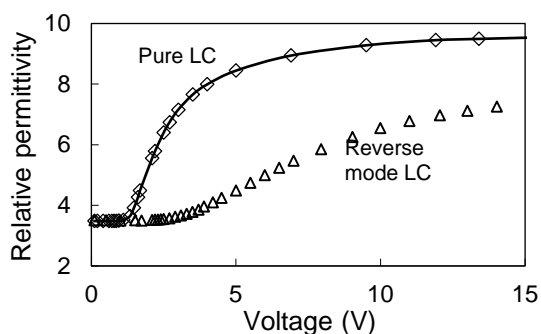


図9 Voltage vs. relative permittivity of the cell. Symbols: experimental data; solid line: theoretical fitting.

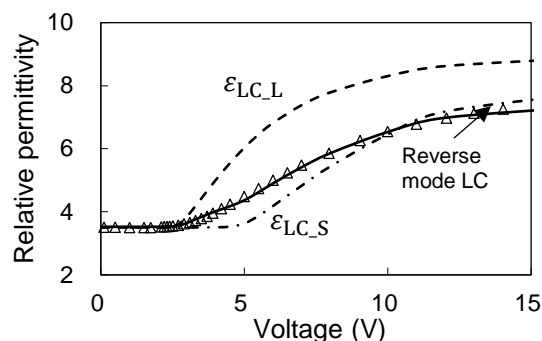


図10 Voltage vs. relative permittivity of the LC in large and small domains. Symbols: experimental data; solid line: theoretical fitting

この体積分率と液晶再配向のしきい電圧の値から、各液晶ドメインの実効的屈折率差を求めることができる。さらに、高分子と液晶層全体の実効的な屈折率差の変化を組み入れて、Lambert-Beer則 ($T = T_0 \exp(-\tau d)$) による透過率を算出する。

$$T(V) = T_0 \exp \left\{ - \left(\alpha_0 \left[\frac{n_{LC}(V)}{n_p} - 1 \right]^2 + \beta_0 \left[\frac{n_{LC,L}(V)}{n_{LC,S}(V)} - 1 \right]^2 \right) d \right\}, \quad (3)$$

ここで、 α_0 は、高分子と液晶層全体の実効的な屈折率差の、 β_0 は各液晶ドメインの実効的屈折率差において光散乱への寄与の強さを示し、実測値の透過率カーブとのフィッティングパラメータとなる。こうして得られた結果を図11に示す。各液晶ドメインの実行屈折率の差は、約6V付近で最大になり、その後両ドメインの液晶が再配向することにより減少する。それに対し、高分子と液晶の屈折率差は、印加電圧とともに増加する。ここで、 $\alpha_0=26$ 、 $\beta_0=75 \mu\text{m}^{-1}$ としたとき、図に示すように実測値と非常に良い一致が得られた。透過率が最小となる印加電圧は、大小ドメイン間の屈折率が最大となる電圧とほぼ一致していることがわかる。また、 α_0 と β_0 の数値から、各液晶ドメインの実効的屈折率の方が、高分子と液晶層全体の実効的な屈折率差のほうが光散乱に寄与していることがわかる。例として、 α_0 と β_0 の値を図12に示すように、一方の光散乱の寄与をゼロとして計算すると、 α_0 としたときは低電圧で透過率が最小になる素子となるが、電圧が増加すると透過率も増加に転じてしまう。一方、 $\beta_0=0$ としたときは、電圧増加とともに透過率が減少するものの、駆動電圧は大きくなってしまふことがわかる。以上、同じ液晶材料を用いても、大小ドメインが存在することで、液晶ドメイン間での屈折率差が低電圧側で光散乱を引き起こしていることが、シミュレーションからも明らかになった。

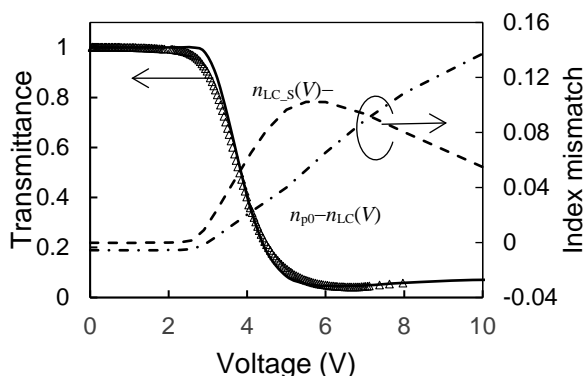


図11 Electro-optical property in the reverse mode cell in the cell with UV intensity of 20 mW/cm². Symbols: experimental data; solid line: theoretical fitting.

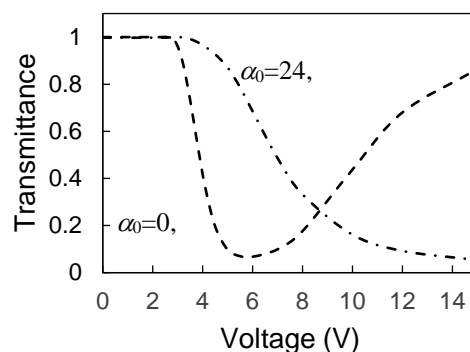


図12. Theoretical electro-optical curves with neglecting either factor α_0 or β_0 .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 R. Yamaguchi and K. Inoue	4. 巻 34
2. 論文標題 Electrical and Optical Model of Reverse Mode Liquid Crystal Cells with Low Driving Voltage	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 315-320
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2494/photopolymer.34.315	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yamaguchi Rumiko, Sagawa Kosuke, Yanase Satoshi	4. 巻 33
2. 論文標題 Improvement of Light Scattering in Reverse Mode Liquid Crystals using Micro-Lens Array Effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 369 ~ 372
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2494/photopolymer.33.369	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yamaguchi Rumiko, Ushizaki Ryo	4. 巻 32
2. 論文標題 Louver Function in Hybrid Aligned Reverse Mode Using Dual Frequency Liquid Crystal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 545 ~ 548
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2494/photopolymer.32.545	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 YAMAGUCHI Rumiko	4. 巻 E102.C
2. 論文標題 Thresholdless Electro-Optical Property in Quasi Homogeneous and Homeotropic Liquid Crystal Cells Using Weak Anchoring Surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 810 ~ 812
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transele.2019DIS0002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Yamaguchi, R. Sasaki and K. Inoue	4. 巻 31
2. 論文標題 Driving Voltage in Reverse Mode Cell Using Reactive Mesogen : Effect of UV Absorption of Liquid Crystal	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 301-304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.31.301	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計29件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 T. Ito and R. Yamaguchi
2. 発表標題 Reverse mode smart window by UV irradiation through hole patterned photomask
3. 学会等名 The 19th Topical Meeting on the Optics of Liquid Crystals (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川翔平, 斎藤佑真, 山口留美子
2. 発表標題 等方性ポリマーと異方性ポリマーを混合したリバースモードPDLCの電気光学特性
3. 学会等名 2021年 日本液晶学会 討論会 講演予稿集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤 耀希, 山口 留美子
2. 発表標題 凹レンズ効果によるリバースモード液晶素子の散乱特性向上に関する研究
3. 学会等名 非発光型ディスプレイ合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rumiko Yamaguchi, Shunya Kawata
2. 発表標題 Ultra-Low Driving Voltage in Quasi-Twisted Nematic Mode Using Weak / Strong Anchoring Hybrid Alignment Surface
3. 学会等名 THE 27TH INTERNATIONAL DISPLAY WORKSHOPS (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 耀希, 山口 留美子
2. 発表標題 凹レンズ効果を用いたリバースモード素子の開発に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会2020 年ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川田 竣也, 山口 留美子
2. 発表標題 ハイブリッド配向素子における疑似TNモードの超低電圧駆動スイッチング特性
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 耀希, 山口 留美子
2. 発表標題 凹レンズ効果によるリバースモード液晶素子の散乱特性向上に関する研究
3. 学会等名 非発光型ディスプレイ合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口 留美子, 川田 竣也, 麦沢 幸樹
2. 発表標題 ハイブリッド配向疑似TNモードにおける極角アンカリング力と弾性定数の関係
3. 学会等名 電子情報通信学会2021 年総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rumiko Yamaguchi and Ryo Ushizaki
2. 発表標題 Louver Function in Hybrid Aligned Reverse Mode Using Dual Frequency Liquid Crystal
3. 学会等名 The 36th International Conference of Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rumiko Yamaguchi, Kosuke Sagawa, Takuya Uchibori, Ryosuke Sasaki and Satoshi Yanase
2. 発表標題 IMPROVEMENT OF REVERSE MODE LIQUID CRYSTALS USING LENS EFFECT
3. 学会等名 The 18th Topical Meeting on the Optics of Liquid Crystals (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosuke Sagawa, Rumiko Yamaguchi, Satoshi Yanase
2. 発表標題 Light Scattering of Ordinary Ray in Reverse Mode LC Cell Assisted by Micro Lens Effect
3. 学会等名 THE 26TH INTERNATIONAL DISPLAY WORKSHOPS (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rumiko Yamaguchi
2. 発表標題 Thresholdless and Ultra-Low Drive Voltage in Liquid Crystals with Weak Anchoring Boundaries
3. 学会等名 Optics & Photonics Taiwan International Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐川康介, 山口留美子, 梁瀬 智
2. 発表標題 リバースモード液晶素子における屈折率ミスマッチングとレンズ効果を組み合わせた光散乱の相乗効果に関する研究
3. 学会等名 2019年 日本液晶学会 討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牛崎 遼, 山口留美子
2. 発表標題 2周波駆動液晶を用いたハイブリッド配向リバースモード液晶素子における重合時電圧印加の光散乱への影響
3. 学会等名 2019年 日本液晶学会 討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内堀拓哉, 佐々木亮輔, 山口留美子
2. 発表標題 不均一UV照射によるツイステッドネマチック配向リバースモード液晶素子
3. 学会等名 2019年 日本液晶学会 討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口留美子
2. 発表標題 弱アンカリングハイブリッド配向による疑似TNモードの超低電圧駆動...
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Yamaguchi
2. 発表標題 Thresholdless Electro-Optical Properties in Homogeneous and Homeotropic Liquid Crystal Cells
3. 学会等名 25th International Display Workshops (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Yamaguchi
2. 発表標題 Effect of Critical Anchoring in Undistorted Twisted and Hybrid Aligned Liquid Crystal Cells
3. 学会等名 9th Italian- Japanese Workshops on Liquid Crystals (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Ushizaki and R. Yamaguchi
2. 発表標題 Hybrid Aligned Reverse Mode Cell Using Dual Frequency Liquid Crystal
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Sagawa and R. Yamaguchi
2. 発表標題 Improvement of Light Scattering in Reverse mode Liquid Crystal Cell with Microlens Structure
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Sasaki and R. Yamaguchi
2. 発表標題 Polymer Stabilized Reverse Mode Liquid Crystal Cell by UV Irradiation through Photomasks
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sakamoto and R. Yamaguchi
2. 発表標題 Numerical Analysis of Electro-Optical Property in Twisted Nematic Cell Using Strong/Weak Anchoring
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Yamaguchi and Y. Sakamoto
2. 発表標題 Twist Angle Controllable Liquid Crystal Cell by Out-of-Plane Filed Using Strong/Weak Anchoring surfaces
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Yamaguchi
2. 発表標題 Anchoring control by nematic liquid crystal mixture on rubbed Poly (4-vinylpyridine) surface
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Yamaguchi
2. 発表標題 Nonlinear Optical Property of Negative Type Nematic Liquid Crystal Assisted by Voltage Application : Numerical Analysis
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口留美子・坂本善紀
2. 発表標題 ツイステッドネマチックチック液晶素子における弱極角アンカリング効果
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内堀卓也, 佐々木 亮輔 山口留美子
2. 発表標題 不均一UV照射リバースモード液晶素子の特性改善
3. 学会等名 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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口留美子
2. 発表標題 しきい電圧のないホモジニアスおよびホメオトロピック配向液晶素子
3. 学会等名 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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口留美子
2. 発表標題 しきい値電圧を持たないホモジニアス及びホメオトロピック配向液晶素子
3. 学会等名 2018年 日本液晶学会 討論会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関