

令和 2 年 9 月 10 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06408

研究課題名(和文) コレステリック液晶材料の螺旋構造制御による温度駆動型調光フィルムの開発

研究課題名(英文) Development of temperature dependent optical device based controll of chiral sturucture in cholesteric liquid crystals

研究代表者

荻原 昭文(Ogiwara, Akifumi)

神戸市立工業高等専門学校・電子工学科・教授

研究者番号：00342569

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、モノマーとコレステリック液晶からなる材料系に紫外線照射を行い内部の螺旋構造制御に基づく選択反射機能を赤外線領域に発現させる光機能デバイスの開発に取り組んだ。カイラル剤の種類やモノマー添加量を変化させた材料系に紫外線照射エネルギーを最適化させることで、熱に影響する赤外線波長帯域幅を大きく変調可能となることを見出した。さらに作製したデバイスに環境温度付近での温度変動を適用すると、選択反射帯域の長波長側が温度増加と共に拡がり、赤外波長領域での反射機能が高まることを見出した。コレステリック液晶内の高分子ネットワーク構造制御により、赤外領域の光線を優先的に反射する光制御機能について明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

異なる種類のカイラル剤やモノマーからなるコレステリック液晶材料系を用いて、内部に螺旋ねじれ構造を発現させ、選択反射帯域幅を変調可能なデバイス開発に取り組んだ。紫外線照射エネルギーをコントロールした一括光照射プロセスを適用することで、太陽光中の熱に影響を与える赤外領域の帯域幅の大きさの変調が可能であることを見出した。この研究成果は、光照射プロセスのみで内部に複雑な多層膜に相当する螺旋ねじれ構造を有するデバイス開発を可能とし、温度増加と共に太陽光中の熱線を優先的に反射させる調光デバイス開発として有用である。

研究成果の概要(英文)：We investigated the formation of optical filter for infrared region by using polymer stabilized cholesteric liquid crystals (PSCLCs) under UV irradiation conditions. The selective reflection band of infrared region in PSCLCs was expanded with the increase of UV irradiation energy, and the threshold characteristics for UV irradiation energy was observed in the change of bandwidth. The experimental results showed that the reflection bandwidth of infrared region in PSCLCs was modulated with the increase of temperature by the UV irradiation based fabrication process.

The developed simple polymerization technique can be applied to achieve the performance of optical filter to reduce the influence of heat in infrared regions for solar-ray.

研究分野：光デバイス、光エレクトロニクス

キーワード：液晶 高分子 波長

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、CO₂ 排出に伴う地球温暖化やオゾン層の破壊による紫外線照射量の増加による環境問題が深刻化している。自然エネルギーとして注目されている太陽光には人間の目で観察できる可視光線(400nm-700nm)の他、より短い波長で人間の皮膚に日焼け等の障害を与える紫外線(350nm 以下)や、長い波長域の熱線と呼ばれ物体に吸収されると熱に変わる赤外線(800nm 以上)が含まれている。近年、開放感がありデザイン性にも優れた窓ガラスを多様化したインテリジェントビルが増加し、さらに一般家屋や車等の移動体にも窓ガラスの占める面積が増加して多様化した利用が進んでいる。一方、窓を通じた熱移動量は予想以上に大きく建築環境・省エネルギー機構の評価では、一般家屋の窓ガラスを通じた年間のエネルギー損失は、冬の暖房時の熱流失割合が全建材の50%以上、夏の冷房時の熱流入割合は70%程度にも達することが指摘されており、窓材料への省エネルギー化効果を含めた光学特性の改良が重要な技術課題となっている。

2. 研究の目的

本研究課題は、太陽光から屋内へ入射する赤外線の透過光量を季節の変化による生活環境温度の変動に適応して効果を発揮できる材料・デバイス開発に関するものである。太陽光中の熱に影響を与える赤外領域の光線を反射等により優先的に変調可能な調光機能を有する材料・デバイスの研究・開発を進め、環境保全に貢献できる持続可能な省エネルギー化社会の構築へと展開する。

3. 研究の方法

図1は太陽光中のスペクトル分布を示しており、太陽光には可視光線(400nm-700nm)と、それより長い波長域で物体に吸収されると熱に変わる赤外線が含まれている。

この図からもわかるように、その中でも800nm~1200nm帯域は、太陽光中に含まれるエネルギー量が大きいので、この波長帯域を優先的に遮断可能な材料デバイスの開発は重要である。

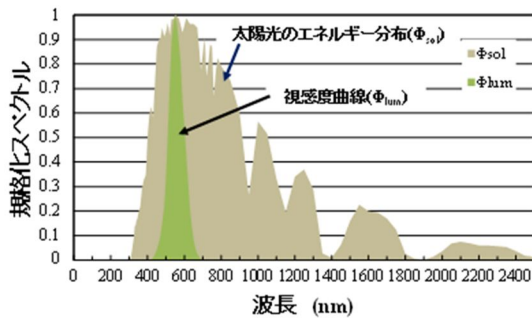


図1 太陽光中に含まれる波長のエネルギー分布

(1) コレステリック液晶デバイスの作製

液晶分子にカイラル剤と呼ばれる光異性化材料を添加することで内部に多層膜構造に相当する螺旋構造の形成が可能となる。光異性化材料の種類や、添加するモノマー材料を選択し、紫外線等の照射によって、内部にポリマーネットワークを形成することで、内部の螺旋周期の大きさや分布が変調されることが最近の研究でわかってきている。さらに、デバイスが置かれた環境の温度の変化により、内部の螺旋構造等に影響を与え、光学特性が変わることが予想される。

(2) コレステリック液晶デバイスの光学特性

図2は、コレステリック液晶デバイスの作製プロセスを示したものであり、ネマティック液晶、カイラル剤、モノマー材料からなる複合体を温度制御した状態で25μm程度の間隙を設けたガラスセル内に毛細管現象を利用して注入する。このサンプルセルをチャンバー内に設置し、紫外線ランプからの照射を行うと、螺旋構造を有するコレステリック液晶内部にポリマーネットワークが形成されることになる。

図3は、紫外線照射プロセスにより作製した高分子ネットワークと螺旋ねじれ構造を有するコレステリック液晶デバイスの内部を模式的に示したものである。図中に示す液晶分子の螺旋ピッチによる周期構造は屈折率の異なる多層膜構造と同様に取り扱うことができる。このため、液晶分子によるピッチの異なる周期構造を形成すると、ブラック回折と呼ばれる特定波長域の光のみを選択的に反射する機能の発現が可能となる。従って、この周期のピッチの大きさを赤外光領域に併せて設計し、さらに生活環境温度程度の範囲における温度増加に応じて変化させることができれば、この熱線の波長域を反射させ

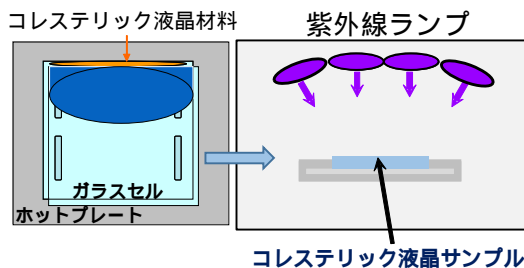


図2 コレステリック液晶デバイスの作製プロセス

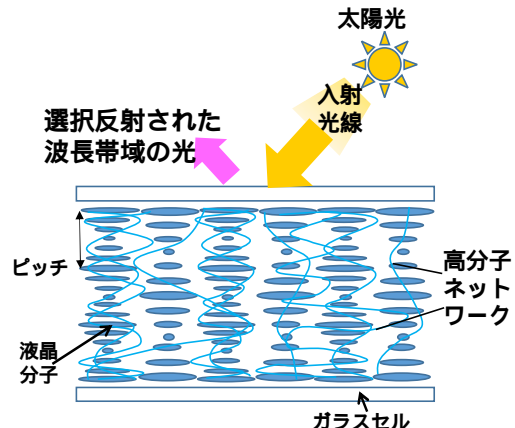


図3 液晶デバイスの螺旋制御による選択反射

室内への光の進入を遮断して、省エネルギー化に応用することが可能となる。

4. 研究成果

(1) 紫外線照射による選択反射の広帯域化

図4は、液晶性モノマーを添加したコレステリック材料への紫外線(UV)照射無($0\text{J}/\text{cm}^2$)の場合から、照射エネルギーを($4.1\text{J}/\text{cm}^2$)まで徐々に増加させた場合の分光透過率の比較結果を示す。また、この図中に図1で示した太陽光のエネルギー分布スペクトル(Φ_{sol})と人間の視感度スペクトル(Φ_{lum})を併せて示している。紫外線照射により分光透過率における選択反射帯域幅は、照射無の場合の($900\text{-}1000\text{nm}$)から、照射有の場合($4.1\text{J}/\text{cm}^2$)では($700\text{-}1100\text{nm}$)程度まで、選択反射帯域幅が4倍程度増加していることがわかる。また、 $700\text{-}1000\text{nm}$ の赤外領域波長帯には太陽光エネルギーのスペクトル(Φ_{sol})が多く分布しているため、紫外線照射によるコレステリック液晶デバイスの選択反射の広帯域化により熱に影響を与える赤外線の影響は大きいと考えられる。

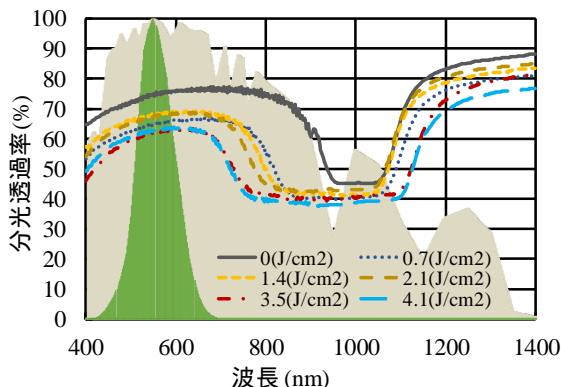


図4 液晶デバイスの分光透過率測定結果

(2) 選択反射帯域の温度増加による影響

図5は、紫外線照射エネルギーを($10\text{J}/\text{cm}^2$)照射して作製したデバイスの分光透過率の温度依存性を示している。図4でも示した紫外線を照射しない場合の選択反射帯域幅に対して、紫外線を($10\text{J}/\text{cm}^2$)程度まで照射していくと帯域幅が 500nm 程度にまで拡大されることが確認できる。また、作製したデバイスに温度変化($25\sim 45$)を生じさせた場合、モノマー添加後に紫外線照射を行ったデバイスでは、選択反射帯域幅の長波長側の端部が温度増加と共に広がっていることがわかる。この温度による帯域幅の変化を赤外線のエネルギーがより大きい領域に設定できればさらに効果が大きいと考えられる。

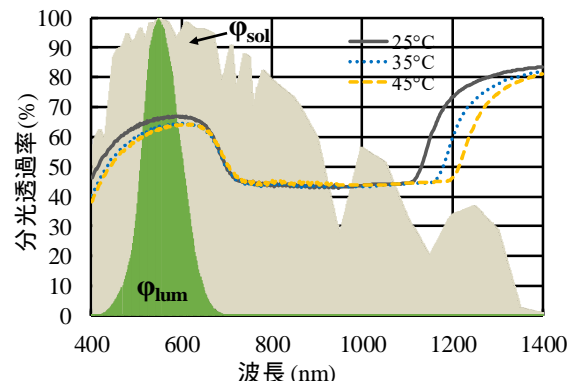
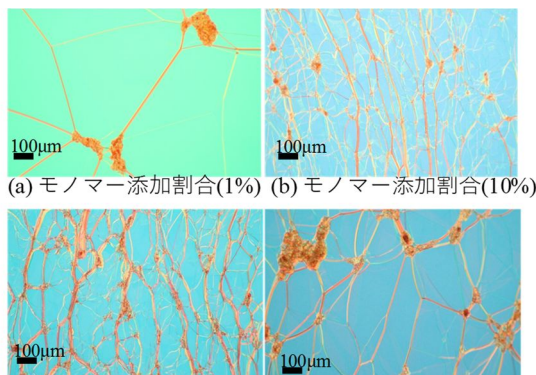


図5 分光透過率の温度依存性

これらの結果を基に、作製したデバイスの分光特性測定結果から調光機能を計算し、可視透過機能に対する日射制御機能の比と、紫外線照射エネルギー量との関係の解析を行った。この結果、紫外線照射エネルギー量が($10\text{J}/\text{cm}^2$)付近において、可視透過機能に対する日射制御機能の比が最小値を示した。このことから、この条件で作製したデバイスは、可視透過機能を確保した状態で、太陽光の日射エネルギーから熱に影響する赤外線領域の光線を優先的に反射する光制御機能が得られることが明らかになった。

(3) 液晶デバイスの内部構造観察結果

図6にコレステリック液晶デバイスへのモノマー添加量と紫外線照射エネルギーを変化させて作製したデバイスの内部構造の偏光顕微鏡により観察した結果を示す。図6(a),(b)における異なるモノマー添加量の場合では、添加量が増加すると内部に枝状に広がっている高分子ネットワーク密度が大きくなっていることがわかる。また、図6(c),(d)では、モノマー添加割合を10%とし、紫外線照射エネルギーを($0.7\text{J}/\text{cm}^2$)と($10.4\text{J}/\text{cm}^2$)と大きく変化した場合の内部構造を示している。これらを比較すると、紫外線照射量が小さい場合は、内部に形成されている高分子ネットワークが枝状に発達しているのに対して、エネルギー量が大きい場合は、ネットワーク構造が網目状に形成され、ネットワーク密度は低下しているように観察される。このように内部に形成された高分子ネットワーク構造が選択反射帯域幅の変化が生じるような光学特性に影響しているのではないかと考えられる。



(a)モノマー添加割合(1%) (b)モノマー添加割合(10%)
(c)紫外線照射量($0.7\text{J}/\text{cm}^2$) (d)紫外線照射量($10.4\text{J}/\text{cm}^2$)

図6 液晶デバイスの内部顕微鏡観察結果

以上のように本課題への研究計画期間において、モノマー添加した液晶材料設計と紫外線照射による高分子ネットワーク構造制御により、コレステリック液晶デバイスの赤外領域

の光線を優先的に反射する光制御機能の発現と、選択反射帯域変調による調光機能について明らかにすることが出来たと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 垣内田 洋, 荻原 昭文	4. 巻 22
2. 論文標題 液晶のスマートウィンドウへの応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本液晶学会誌	6. 最初と最後の頁 101-107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 荻原 昭文	4. 巻 12
2. 論文標題 液晶材料を用いた温度駆動型調光制御素子	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 光アライアンス	6. 最初と最後の頁 13-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hiroshi Kakiuchida ¹ , Akihiko Matsuyama, Eiichi Kobayashi, and Akifumi Ogiwara	4. 巻 -
2. 論文標題 Thermoresponsive light scattering from meso-scale composites of liquid crystals and reactive mesogens	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018) Proceedings	6. 最初と最後の頁 P4-C1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Akifumi Ogiwara and Hiroshi Kakiuchida	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of transmittance spectra in polymer stabilized cholesteric liquid crystals by UV irradiation conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018) Proceedings	6. 最初と最後の頁 P4-C2-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Makishi Toda ¹ , Akifumi Ogiwara, and Minoru Watanabe	4. 巻 -
2. 論文標題 27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018) Proceedings	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018) Proceedings	6. 最初と最後の頁 P4-C2-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Akifumi Ogiwara, Makishi Toda, Minoru Watanabe, and Hiroshi Kakiuchida	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of radiation exposure on volume gratings formed in liquid crystal composites	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEPE 2018) Proceedings	6. 最初と最後の頁 P-612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hiroshi Kakiuchida and Akifumi Ogiwara	4. 巻 -
2. 論文標題 Elaborate but simple-to-manufacture polymer network liquid crystals for thermoresponsive light controllers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEPE 2018) Proceedings	6. 最初と最後の頁 IL-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Akifumi Ogiwara and Hiroshi Kakiuchida	4. 巻 -
2. 論文標題 STUDY FOR BASIS OF THERMAL OPERATED SMART WINDOWS USING TEMPERATURE DEPENDENT CHOLESTERIC LIQUID CRYSTALS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 GRAND RENEWABLE ENERGY 2018 Proceedings	6. 最初と最後の頁 P-St-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hiroshi Kakiuchida, Erina Okubo, Masayuki Kabata, Takanori Matsuyama, and Akifumi Ogiwara	4. 巻 -
2. 論文標題 THERMORESPONSIVE SMART WINDOWS USING LIQUID CRYSTAL COMPOSITES	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 GRAND RENEWABLE ENERGY 2018 Proceedings	6. 最初と最後の頁 P-At-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Akifumi Ogiwara	4. 巻 We-N-02
2. 論文標題 Formation of holographic memory with temperature-resistant properties in liquid crystal composites for optically reconfigurable gate arrays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IMAGING, SENSING, AND OPTICAL MEMORY 2018 (ISOM 2018)	6. 最初と最後の頁 147-148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Akifumi Ogiwara and Hiroshi Kakiuchida	4. 巻 LCTp4-4
2. 論文標題 Effect of UV Irradiation on Bandwidth of Selective Transmittance Spectra in Polymer Stabilized Cholesteric Liquid Crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 25th International Display Workshops (IDW 2018) Proceedings	6. 最初と最後の頁 189-192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hiroshi Kakiuchida and Akifumi Ogiwara	4. 巻 LCT8-3
2. 論文標題 Polarization-Selective Multi-Wavelength Bragg Diffractions Using Slanted Holographic Polymer Dispersed Liquid crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 25th International Display Workshops (IDW 2018) Proceedings	6. 最初と最後の頁 121-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Akifumi Ogiwara, Minoru Watanabe, and Yoshizumi Ito	4. 巻 56
2. 論文標題 Tolerance of holographic polymer-dispersed liquid crystal memory for gamma-ray irradiation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Appl. Opt.	6. 最初と最後の頁 4854-4860
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1364/AO.56.00485	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 Hiroshi Kakiuchida, Akifumi Ogiwara, and Akihiko Matsuyama	4. 巻 2
2. 論文標題 Multiple Bragg Diffractions with Different Wavelengths and Polarizations Composed of Liquid Crystal/Polymer Periodic Phases	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 6081 - 6090
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1021/acsomega.7b01149	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 Hiroshi Kakiuchida and Akifumi Ogiwara	4. 巻 78
2. 論文標題 Reverse-mode thermoresponsive light attenuators produced by optical anisotropic composites of nematic liquid crystals and reactive mesogens	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 273-278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.01.046	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 Yoshizumi Ito, Minoru Watanabe, Akifumi Ogiwara	4. 巻 7968743
2. 論文標題 300 Mrad total-ionizing-dose tolerance of a holographic memory on an optically reconfigurable gate array	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Symposium on Next-Generation Electronics	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1109/ISNE.2017.7968743 (IEEE Xplore)	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 Yoshizumi Ito, Minoru Watanabe, Akifumi Ogiwara	4. 巻 8046374
2. 論文標題 500 Mrad total-ionizing-dose tolerance of a holographic memory on an optical FPGA	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems	6. 最初と最後の頁 167-171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1109/AHS.2017.8046374 (IEEE Xplore)	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 Akifumi Ogiwara, Minoru Watanabe, and Yoshizumi Ito	4. 巻 2017
2. 論文標題 Resistance Evaluation of Holographic Polymer-Dispersed Liquid Crystal Memory for Gamma-Ray	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Micro Optics Conference (MOC2017) Technical Digest	6. 最初と最後の頁 200-201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Akifumi Ogiwara and Hiroshi Kakiuchida	4. 巻 2017
2. 論文標題 Effect of UV Irradiation on Transmittance Spectra in Polymer Stabilized Cholesteric Liquid Crystals	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Micro Optics Conference (MOC2017) Technical Digest	6. 最初と最後の頁 206-207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Akifumi Ogiwara
2. 発表標題 Formation of holographic memory with temperature-resistant properties in liquid crystal composites for optically reconfigurable gate arrays
3. 学会等名 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IMAGING, SENSING, AND OPTICAL MEMORY 2018 (ISOM 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荻原 昭文, 垣内田 洋
2. 発表標題 コレステリック液晶材料への紫外線照射条件による選択反射帯域の変調効果
3. 学会等名 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荻原 昭文, 植田 航輔, 垣内田 洋
2. 発表標題 熱応答型PDLC作製におけるレーザ散乱光の照射条件の効果
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 垣内田洋, 加畑雅之, 松山剛知, 荻原昭文
2. 発表標題 UV照射による高分子分散液晶の光重合誘起相分離および調光窓材への展開
3. 学会等名 2017年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 垣内田 洋, 荻原 昭文, 松山 明彦
2. 発表標題 官能基数の少ないモノマーで作製したHPDLCの回折特性
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 荻原 昭文, 戸田 真輝士, 渡邊 実
2. 発表標題 液晶回折素子の放射線照射による光学特性の耐性評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 垣内田 洋, 荻原 昭文
2. 発表標題 液晶/反応性メソゲンのメゾ相分離構造の形成と光散乱の温度特性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hiroshi Kakiuchida, Akifumi Ogiwara	4. 発行年 2019年
2. 出版社 IET book	5. 総ページ数 826
3. 書名 High Quality Liquid Crystal Displays and Smart Devices	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>微細光学素子作製技術、光制御・省エネルギー応用技術 http://www.kobe-kosen.ac.jp/kyoudou/seeds/pdf/D/D_ogiwara.pdf 微細光学素子作製技術、光制御・省エネルギー応用技術 http://www.kobe-kosen.ac.jp/kyoudou/seeds/pdf/D/D_ogiwara.pdf</p>

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
研究分担者	垣内田 洋 (Kakiuchida Hiroshi) (40343660)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・主任研究員 (82626)	