

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05976

研究課題名(和文) 高分子安定化技術のハイブリッド配向液晶素子への適用とスマートガラスの創製

研究課題名(英文) Hybrid alignment liquid crystal device with polymer stabilized technology and application to smart glass

研究代表者

山口 留美子 (Yamaguchi, Rumiko)

秋田大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：30170799

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：液晶・高分子複合系において、バルク中の液晶配向を制御する“高分子安定化技術”をハイブリッド配向液晶素子に適用することで、透明状態と、光散乱状態を電圧によって切り替えられ、さらには光散乱強度の入射角依存性が発現する“スマートガラス”の機能を発現させることができた。すなわち、電圧無印加時には透明なガラス窓状態を示し、電圧印加時にはある角度からの斜め入射光は強く散乱し、それとは反対側の方向からの入射光は高い透過率を示す。p型液晶とn型液晶では、光透過及び散乱を示す入射方向が反対となることを明らかにした。さらには2周波駆動液晶によって周波数でブラインドの角度調整と同様な機能を発現できた。

研究成果の概要(英文)：We have proposed a hybrid aligned nematic liquid crystal cell using a polymer stabilized technology for Smart glass application. The cell shows a reverse mode scattering property, which is transparent at any viewing angle in a voltage off-state. The cell turns to opaque by applying the voltage and has an asymmetrical scattering property at oblique incident angles. When using the liquid crystal with positive dielectric anisotropy, the oblique incident angle presenting the strong light scattered state is in the opposite direction when using negative dielectric anisotropy. In addition, we apply a dual-frequency liquid crystal to the cell and successfully switch the incident angle which gives the strong light scattering state by the frequency of the applied AC voltage. We expect the proposed devices can be a candidate for smart glass technology which works as a window blind selectively obstructing a midday sunlight.

研究分野：光デバイス工学

キーワード：ネマチック液晶 分散型液晶 スマートガラス 高分子安定化 光散乱 電気光学特性 光反応性メソゲン 高分子

1. 研究開始当初の背景

液晶と高分子の複合系は、界面液晶配向制御メカニズムの解明と新規光学素子への応用が、国内外で精力的に研究されている。さらに、複合材料間の屈折率差を利用した光散乱とその電気的な制御(ノーマルモード：電圧印加により光散乱から透明状態)素子は、一部実用化されている。

また、液晶性を有する反応性メソゲンを高分子材料として用い、バルク中の液晶配向を制御した“高分子安定化技術”によって、リバースモード(電圧印加により透明から光散乱状態)が可能となり、近年は低電圧駆動化、高コントラスト化が計られている。しかし、これらの素子は、“ホモジニアス配向”の液晶配向状態でしか行われていない。(図1)

これに対し、申請者は液晶配向の水平方向にねじれを導入した“90度ツイステッドネマチック配向”の高分子安定化液晶素子においてリバースモードを発現させ、ホモジニアス素子で問題となっていた偏光依存性を解決し、偏光板なしでの高コントラスト化、“270度ツイステッド配向”での方位視野角の無依存化に成功している。

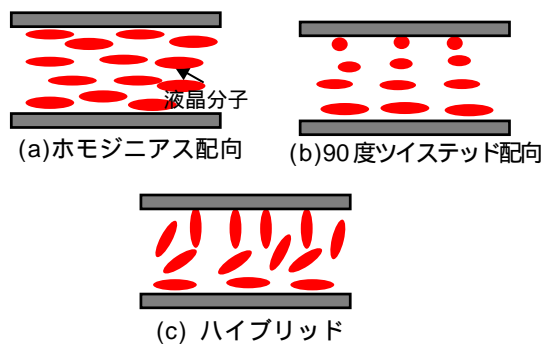


図1 液晶配向の種類

2. 研究の目的

液晶・高分子複合系において、バルク中の液晶配向を制御する“高分子安定化技術”がある。本研究は、この技術を異なる配向基板を組み合わせたハイブリッド配向液晶(HAN)素子に適用することで、光散乱強度の入射角依存性を発現させる。種々の液晶・高分子材料の組み合わせを検証し、高分子の分散構造の違いの観点から、光散乱特性の入射角依存性との関係を明らかにする。液晶のUV吸収係数は、垂直と水平配向において異なるため、UV照射側の配向状態が高分子安定化に及ぼす影響を明らかにする。素子作製における種々のパラメータを最適化し、“ブラインド効果”を低電圧で発現できる素子、すなわち、電圧オフ時は通常の窓ガラス並みの透過率、電圧オン時は南中付近の強い太陽光を選択的に遮ることが可能な“スマートガラス”の創製を目指す。

3. 研究の方法

I 種々の液晶・高分子材料の組み合わせを検証し、高分子の分散構造の違いの観点から、また液晶の物性値(屈折率および誘電率異方性)の観点から、光散乱特性の入射角依存性、および電圧-散乱(透過率)特性を検討し、非対称な電気光学特性のメカニズムを明らかにする。

II 反応性メソゲンは、UV照射により液晶中で重合される。液晶のUV吸収係数は、垂直と水平配向において異なるため、UV照射側の配向状態が上記の結果へ大きく影響すると予想している。そこで、液晶の吸収異方性が高分子安定化に及ぼす影響を明らかにする。

III 以上の結果を総合して低駆動電圧(~4V)、高散乱強度の等の最適化を行い、電圧オフ時は透明、オン時には南中付近の強い太陽光を選択的にさえぎる、ブラインド効果を有するスマートガラス(図2)を作製する。

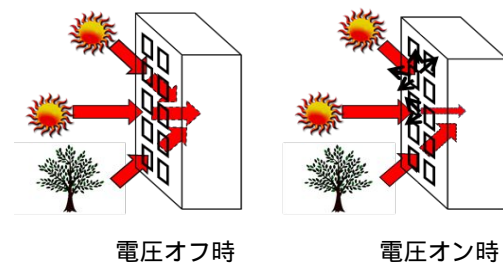


図2 スマートガラスのブラインド効果モデル図

4. 研究成果

(1) 高分子安定化液晶素子の作製

種々のp型液晶と反応性メソゲンを混合し、ホモジニアス配向の高分子安定化液晶素子を作製し、その電気光学特性を明らかにした。その結果、通常は誘電異方性が大きな液晶材料を用いることでは低電圧駆動が実現できるのだが、その構想は本素子には適用できないことが明らかとなった(図3)。さらに、誘電異方性が小さくても液晶メソゲン基内にトランブリッジを有する液晶を用いることで、5V前後の低電圧駆動が可能となることを明らかにした。n型液晶においても同様の傾向があることがわかった。

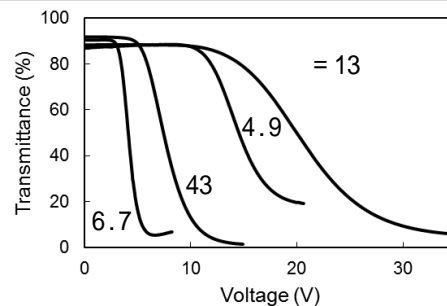


図3 ホモジニアス配向リバースモード素子の電気光学特性

(2)高分子分散構造(モフォロジー)観察

SEM による高分子モフォロジーの観察を行った。その結果、トランブリッジを有する液晶を用いることで、米粒状の高分子粒が連なった特徴的なネットワーク(フィブリル)構造ができることを示した(図4)。

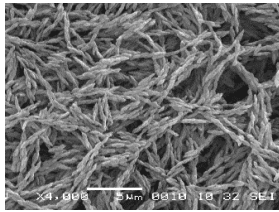


図4 高分子モフォロジーSEM写真

(3)ハイブリッド配向素子の作製と特性測定:

図5は、素子作製に使用するUV-LED光源範囲における透過スペクトルである、このように紫外線領域の吸収特性が異なる。さらに、ハイブリッド配向液晶素子においては、ホモジニアス配向とホメオトロピック配向とでは吸収の差が生じる。トラン系液晶 MLC-2136 の365nmにおいて、吸収係数を $A/d = 3000$, $A = 400 \text{ cm}^{-1}$ (365 nm)と見積もり、素子へのUV光の進入長を計算すると、 $10 \mu\text{m}$ の素子において、ホモジニアス配向側からでは $3.7 \mu\text{m}$, ホメオトロピック配向側からでは $7.6 \mu\text{m}$ となる。(図6)

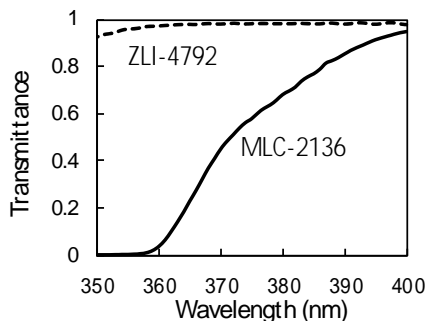


図5 液晶素子の紫外線透過スペクトル

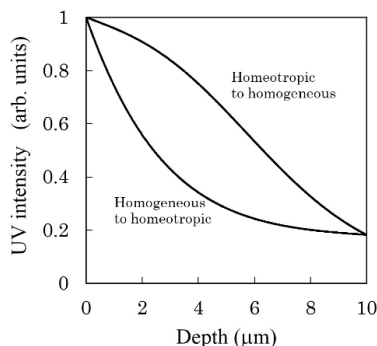


図6 液晶層中における365nmの紫外線強度分布

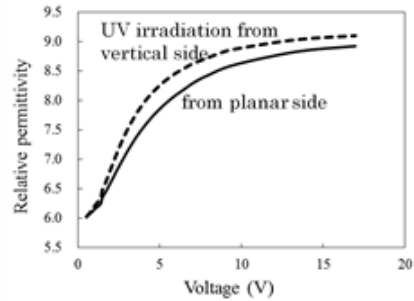


図7 p型液晶を用いたリバースモードHAN素子の誘電率-電圧特性

また、図6の結果は、紫外線照射方向によって重合の条件が素子の深さ方向によって異なる結果を生じさせる。図7は、素子に電圧を印加したときの素子の静電容量変化から誘電率を算出した結果である。誘電率の増加は、ホモジニアス配向とホメオトロピック配向側からUVを照射して作製したリバースモードHAN素子において、液晶分子の再配向に差が生じることを示している。これは、図8のSEM写真に示すように、UV照射側(a), (d)に多くの反応性メソゲンが重合析出していることを示している((b), (c)はUV出射側基板上的モフォロジー)。p型液晶は電圧印加時に基板に平行な配向から垂直な配向へ変化する。したがって、高分子が多い部分では液晶の再配向が阻害されていることを示している。一方、図9に示すように、光散乱は、高分子と液晶の間で生じるため、平行配向側からUV照射を行った素子のほうが光散乱が強く透過率が減少していることを示した。一方、紫外線吸収がないZLI-4792液晶を用いた場合は、誘電率および透過率の電圧特性に違いが生じないことを確認している。

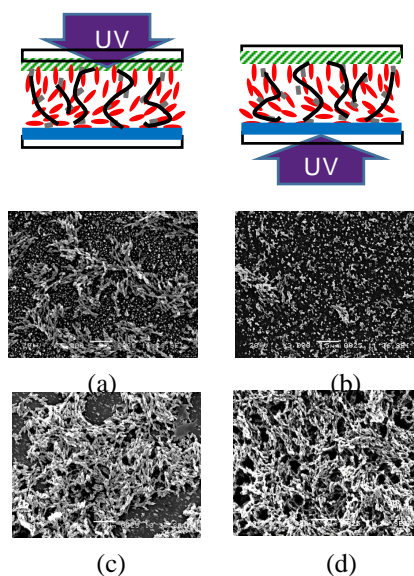


図8 UV照射側の液晶配向状態と高分子モフォロジー

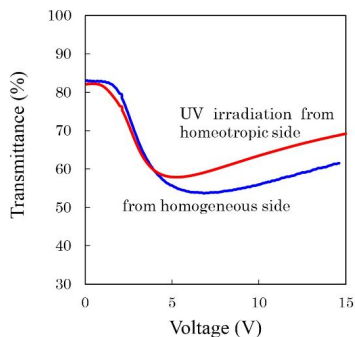


図9 MLC-2136 液晶を用いたリバースモードHAN素子の透過率-電圧特性

(4)入射角依存性測定

図10のように液晶分子の配列と入射角の定義を行い、入射角に対する透過率特性を測定した結果を図11に示す。紫外線は水平配向基板側から照射している。電圧無印加状態では、どの角度からの光に対しても素子が高い透明状態を示していることがわかる。また電圧印加時は、(a)では入射角が -40° では透過率高いのに対し、入射角がプラス方向に傾いていくにしたがって透過率は減少している。このように、入射角に対して透過率が非対称となることを確認し、ブラインド効果が得られた。

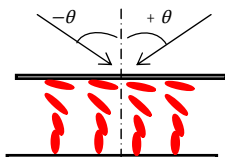


図10 液晶分子配列と入射角

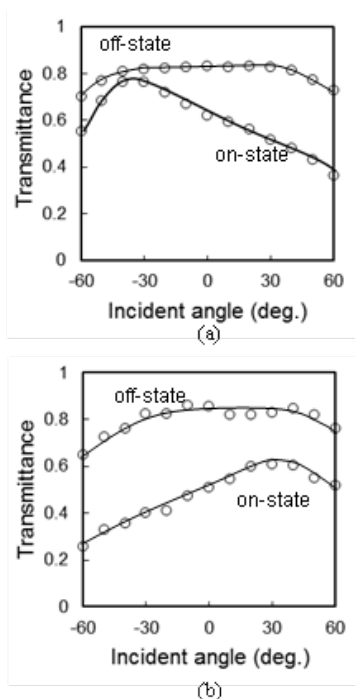


図11 リバースモードHAN素子透過率の入射角依存性

n型液晶を用いた場合は電圧印加時に基板に垂直な配向から平行な配向へ変化する。したがって図10(b)に示すように、電圧印加時に透明状態が得られる入射角が、p型使用時は逆方向となることも明らかとなった。

(5)2周波駆動液晶によるブラインド特性の切り替え

2周波駆動液晶は、印加する周波数が増加するとともにその誘電率異方向性が正(p型)から負(n型)へと変化する特性を有する。これを用いて、ブラインドの角度調整を印加周波数で切り替える試みを行った。

図12は、使用した2周波駆動液晶の分子長軸に平行及び垂直な電場に対する誘電率の周波数特性である。7kHz付近を境に誘電率異方向性の正負が切り替わる。図13は、15V一定の印加電圧に対して、周波数を変化させたときの透過率の入射角依存性である。1kHz駆動では、液晶はp型を示すので、入射角はマイナス方向で透明な状態、プラス方向で光散乱を示した。10kHz印加時は誘電異方向性が小さいので、液晶分子はしきい値以下の状態であり、再配向していない。したがって、素子はどの方向からも透明な状態を保持している。さらに周波数を12kHzまで増加すると、液晶はn型となるため、透明状態が得られる入射角はプラス側に生じる。このように、周波数によって、ブラインド特性を制御できることを明らかにした。

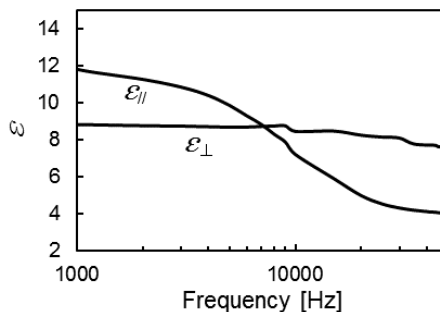


図12 2周波駆動液晶の誘電率特性

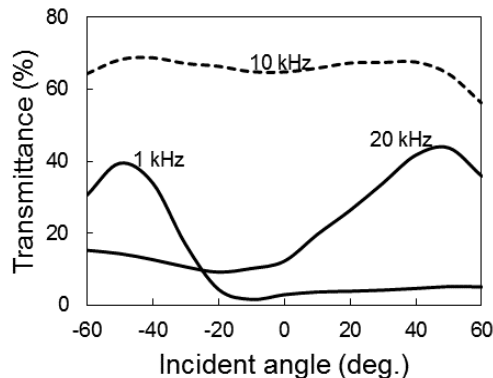


図13 2周波駆動液晶を用いたリバースモードHAN素子透過率の入射角依存性

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 4 件)

R. Yamaguchi, K. Inoue, Y. Oikawa and T. Takasu, “Electro-Optical Property in Hybrid Aligned Reverse mode Cell Using Liquid Crystals with Positive and Negative Dielectric Constant Anisotropies”, J. Photopolym. Sci. Technol., 30 (2017) 463. 査読有
doi.org/10.2494/photopolymer.30.463

R. Yamaguchi, K. Inoue, R. Kurosawa, “Crystal Material on Polymer Network Structure in Polymer Stabilized Liquid Crystal Cell”, J. Photopolym. Sci. Technol., 29 (2016) 289. 査読有
doi.org/10.2494/photopolymer.29.289

R. Yamaguchi and T. Takasu, “Hybrid Aligned nematic liquid crystal Smart glass with asymmetrical daylight controls”, J. of SID, 23 (2015) 365. 査読有 DOI:10.1002/jsid.319

R. Yamaguchi, K. Goto, L. Xiong and T. Tomono, “Normal and reverse mode light scattering properties in nematic liquid crystal cell using polymer stabilized effect”, J. Photopolym. Sci. Technol., 28 (2015) 319. 査読有
doi.10.2494/photopolymer.28.287

[学会発表](計 19 件)

R. Yamaguchi, Y. Oikawa, R. Ushizaki and T. Takasu, “Incident Angle Property in Hybrid Aligned Reverse Mode Liquid Crystal for Smart Glass Application”, 3rd Japan-Thailand Joint Symposium on Advanced Nanomaterials and Devices for Electronics and Photonics DEI-18-22, 21-24th, Jan. (2018) Bangkok (Thailand).

R. Sasaki and R. Yamaguchi, “Electrooptical Property of Polymer Stabilized Reverse Mode Cell by Nonuniform UV Irradiation”, The 24th International Display Workshops, FMCp1 - 13L, 6-8th Dec. (2017) Sendai. 査読有

佐々木亮輔, 山口留美子, “不均一 UV 照射によるリバースモード液晶素子の低電圧駆動化に関する研究”, 2017 年日本液晶学会討論会, PB30, 2017 年 9 月 13-15 日 弘前大学 (弘前)。

R. Yamaguchi, K. Inoue, Y. Oikawa, and T. Takasu, “Electro-Optical Property in Hybrid Aligned Reverse mode Cell Using Liquid Crystals with Positive and Negative Dielectric Constant Anisotropies”, 34th International Conference of Photopolymer Science and Technology, B3-04, 26-29 Jun. (2017) Chiba.

山口留美子, 井上 洗一, “高分子安定化リバースモード液晶素子における液晶 UV 吸収の高分子構造への影響”, 発光型/非発光型ディスプレイ合同研究会, EID2016-39, 2017 年 1 月 26-27 日, 徳島大学常三島キャンパス(徳島)。

K. Inoue and R. Yamaguchi, “Reduction of Driving Voltage in Polymer Stabilized Reverse Mode Cell: UV Absorption of LC and UV Light Source”, The 23th International Display Workshops, LCTp2 - 8L, 7-9th Dec. (2016) Fukuoka. 査読有

山口留美子, 井上 洗一, 黒沢 諒, “ネマチック液晶溶媒による高分子ネットワーク構造制御”, 電子情報通信学会 2016 年ソサイエティ大会, C-9-10, 2016 年 9 月 20-23 日, 北海道大学 (札幌)。

山口留美子, 井上 洗一, 三橋翔太, “高分子安定化ハイブリッド配向液晶素子作製における紫外線吸収の影響”, 2016 年日本液晶学会討論会, 2C03, 2016 年 9 月 5-7 日 大阪工業大学 大宮キャンパス (大阪)。

R. Yamaguchi, K. Inoue and T. Takasu, “Effect of UV absorption anisotropy on hybrid aligned polymer stabilized liquid crystal cell”, SPIE Optics + Photonics 2016, 9940-3, 28th Aug. 1st Sep. (2016) San Diego (USA).
doi: 10.1117/12.2235473

R. Yamaguchi, K. Inoue, R. Kurosawa, “Crystal Material on Polymer Network Structure in Polymer Stabilized Liquid Crystal Cell”, 33th International Conference of Photopolymer Science and Technology, B3-02 22-24 Jun. (2016) Chiba.

山口留美子, 井上 洗一, “リバースモード液晶素子における電気光学特性計算モデル”, 電子情報通信学会 2016 年総合大会, C-9-5, 2016 年 3 月 15-18 日, 九州大学伊都キャンパス (福岡)。

R. Yamaguchi, K. Inoue, T. Takasu and S. Mitsuhashi, “UV absorption anisotropy in hybrid aligned polymer stabilized liquid crystal”, 2nd Japan-Thailand Joint Symposium on Advanced Nanomaterials and Devices for Electronics and Photonics, DEI-16-026, Jan. 11-13th (2016) Bangkok (Thailand).

K. Inoue and R. Yamaguchi, “Mechanism of low driving voltage in polymer stabilized reverse mode cell”, The 22th International Display Workshops, LCTp3 - 4L, 9-11th Dec. (2015) Otsu. 査読有

R. Yamaguchi and T. Takasu, "UV Penetration Length in Hybrid-Aligned Reverse Mode Liquid Crystal Cell", Eurodisplay 2015, P02, 21-23th Sept. (2015) Ghent (Belgium).
DOI: 10.1002/sdtp.10488

山口留美子, 井上 洸一, "低電圧駆動リバースモード液晶素子における分子再配向モデル", 電子情報通信学会 2015 年ソサイエティ大会, C-9-10, 2015 年 9 月 8-11 日, 東北大学青葉山キャンパス (仙台)。

井上 洸一, 水口 新之助, 山口 留美子, "フッ素系リバースモード液晶素子における液晶ドメイン間の散乱", 2015 年日本液晶学会討論会, PA36, 2015 年 9 月 7-9 日 東京工業大学 すすかけ台キャンパス (横浜)。

山口 留美子, 井 慎太郎, 高須 智也, "高分子安定化ハイブリッド配向素子における紫外線の進入長" 2015 年日本液晶学会討論会, 2C01, 2015 年 9 月 7-9 日 東京工業大学 すすかけ台キャンパス (横浜)。

R. Yamaguchi, K. Goto, L. Xiong and T. Tomono, "Normal and reverse mode light scattering properties in nematic liquid crystal cell using polymer stabilized effect", 32th International Conference of Photopolymer Science and Technology, B3-02, 24-26th Jun. (2015) Chiba.

山口 留美子, 桜井 慎太郎, 高須 智也, 井上 洸一, "リバースモード液晶素子における誘電率変化と光散乱特性" 電気学会研究会資料誘電・絶縁材料研究会, 2015 年 5 月/14 日 日本航空電子工業 (弘前)。

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 液晶表示装置
発明者: 山口 留美子
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 2017-159961
出願年月日: 平成 29 年 8 月 23 日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 留美子 (YAMAGUCHI Rumiko)

秋田大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 30170799