

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25286025

研究課題名(和文) ミクロ相分離構造の光配向技術に基づく新規デバイスナノ材料の創製

研究課題名(英文) Development of photoalignment techniques for microphase separated structure and their device applications

研究代表者

永野 修作 (Nagano, Shusaku)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40362264

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,400,000円

研究成果の概要(和文)：ブロック共重合体は、ナノレベル規則構造(ミクロ相分離構造)を形成する。我々は、光応答性分子を導入した液晶性ブロック共重合体を用いて、偏光により面内配向するミクロ相分離構造を報告した。本研究では、このミクロ相分離構造の光配向機構を明らかにするとともに、分子デバイスに応用する技術に関する研究を進めた。具体的には、1) ミクロ相分離構造の光再配向過程における分子階層構造のリアルタイム観察、2) 超分子液晶構造の導入によるミクロ相分離に基づく賦形構造形成、3) 自由界面を利用したミクロ相分離構造の配向制御、に関する研究を遂行し、光再配向メカニズムの詳細な解明と超分子化に基づく新たな材料系の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：There has been an increase in research on applications of microphase separated (MPS) structure in block copolymer films to nanotemplate and nanopatterning materials. We have reported a photoalignment method for the MPS structure in liquid crystalline (LC) azobenzene block copolymer thin film with a polarized light irradiation. In this project, we have implemented the elucidation for the photoalignment mechanisms of the MPS structure in the LC block copolymer films and the application of the photoalignment method to molecular devices. We conducted 1) realtime observations for the molecular hierarchic structures in the photoalignment MPS system, 2) formation of a nano-relief surface via a supramolecular LC block copolymer films with detachable mesogens, 3) orientational control of MPS structure from a free surface with surface segregation. The proposals can be the breakthrough of the precise mechanism and new material strategies for the LC block copolymer photoalignment systems.

研究分野：光機能化学

キーワード：光配向 液晶性高分子 ブロックコポリマー ミクロ相分離構造 超分子液晶

1. 研究開始当初の背景

ボトムアップ型のナノテクノロジーの一分野として、ブロックコポリマー薄膜の形成する数 10 nm レベルの規則的な相分離構造(マイクロ相分離構造)を配列・配向し、ナノリソグラフィ材料やナノ配線に応用しようとする試みが、盛り上がりを見せている。

我々は、光応答性分子を導入した液晶性ブロック共重合体を用い、偏光によりマイクロ相分離構造の面内一軸配向する技術を世界に先駆けて報告している。この光応答性液晶ブロックコポリマーによるマイクロ相分離構造の光配向手法は、基板に何の加工も施すことなく、成膜後に光作用のみで大面積にてマイクロ相分離構造の三次元配向やパターンングを自在に達成できる特徴がある。

2. 研究の目的

我々の提案する光応答性液晶ブロックコポリマーによるマイクロ相分離構造の光配向手法を分子デバイスへ展開する技術の開発を目的とし、以下の研究を進めた。1) マイクロ相分離構造の光再配向過程における分子階層構造のリアルタイム観察と中間構造の捕捉、2)超分子液晶構造の導入によるマイクロ相分離に基づく賦形構造形成、3)自由界面を利用したマイクロ相分離構造の配向制御、に関する研究を遂行した。これらをもとに、光再配向メカニズムの詳細な解明と超分子化に基づく新たな材料系の開発を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

1) マイクロ相分離構造の光再配向過程における分子階層構造のリアルタイム観察中間構造の捕捉

高エネルギー加速器研究機構 フォトンファクトリービームライン BL-6A にて、当研究グループにて提案された液晶性アゾベンゼンポリマーとポリ(ブチルメタクリレート)のブロック共重合体(PBMA-*b*-PAz)(図 1)薄膜の光再配向過程を時分割斜入射小角 X 線散乱(GI-SAXS)にて観察した。また、PBMA-*b*-PAz 中のアゾベンゼン側鎖の動きを偏光吸収スペクトルにより追跡した。一方、中間構造の捕捉は、配向途中の構造を偏光顕微鏡(POM)観察、偏光吸収スペクトル、GI-SAXS、透過型電子顕微鏡(TEM)観察を行った。

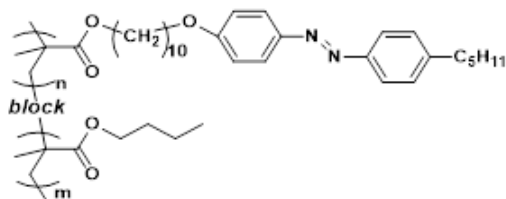


図 1. PBMA-*b*-PAz

2) 超分子液晶構造の導入によるマイクロ相分離に基づく賦形構造形成

ポリスチレンとポリ(4-ビニルピリジン)のブロック共重合体(PS-*b*-P4VP)のピリジン部位にアゾベンゼン安息香酸誘導体(AzCOOH)を水素結合を介して導入した超分子ポリマーを調製し、超分子化により光応答性部位が導入されたマイクロ相分離構造を提案した。

超分子ブロック共重合体について、赤外吸収スペクトル(IR)測定および小角 X 線散乱測定(SAXS)測定を行い構造解析を行った。また、示唆走査熱量(DSC)測定により液晶性の検討を行った。PS-*b*-P4VP/Az のスピコート膜を調製し、膜表面を原子間力顕微鏡(AFM)観察、内部のマイクロ相分離構造と液晶構造とその配向を GI-SAXS 測定、吸収スペクトル測定により評価した。

3) 自由界面を利用したマイクロ相分離構造の配向制御

ホメオトロピック配向性の液晶高分子(PAz 等)および液晶性ブロック共重合体(PS-*b*-PAz)に PBMA-*b*-PAz を少量添加し、プレーナー配向の誘起ならびにマイクロ相分離構造の光面内一軸配向を誘起した。薄膜の液晶配向およびマイクロ相分離構造は、偏光吸収スペクトルおよび GI-SAXS 測定により評価した。

4. 研究成果

1) マイクロ相分離構造の光再配向過程における分子階層構造のリアルタイム観察中間構造の捕捉

PBMA-*b*-PAz の示す動的光再配向の中間過程において、偏光吸収スペクトルから求められるアゾベンゼン側鎖の光学的配向度(*S*)が 0 となる側鎖分子が巨視的にランダムとなる状態を中間状態とし、アゾベンゼン側鎖の二色性や GI-SAXS 測定による液晶相の散乱強度の方位角依存性の評価、ならびに POM 観察や TEM 観察による中間状態の構造の詳細な観察から、階層的に行われる光再配向のメカニズムを考察した。*S* = 0 の中間状態では、アゾベンゼン分子の配向はほぼ等方的であるのに対し、GI-SAXS 測定の方位角プロファイルでは、照射 LPL の 45、135、225、315° 方向に強い散乱ピークを示し、LPL に対し 45° の方向に配向した液晶ドメインが比較的多く存在することがわかった。また、一軸配向膜と中間状態の散乱ピークの半値幅は、ほぼ等しく、中間状態であっても散乱ドメイン径

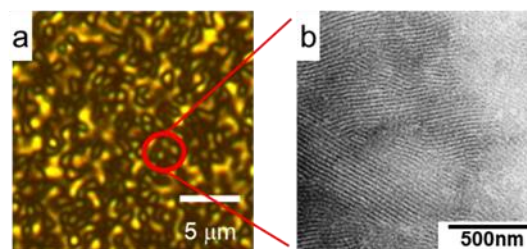


図 2. 中間状態の(a)POM観察像(b) TEM像

は比較的大きいことが示唆された。これらの中間状態の構造は、比較的大きい液晶ドメインが形成されたとその回転により光再配向が行われることを示す。実際に POM 観察にて液晶温度下での中間状態を観察すると、目視可能な数百 nm 以上の液晶ドメインが観察された(図 2a)。興味深いことに、TEM 観察より、液晶ドメイン内部のシリンダー構造は保たれている(図 2b)ことが明らかとなった。

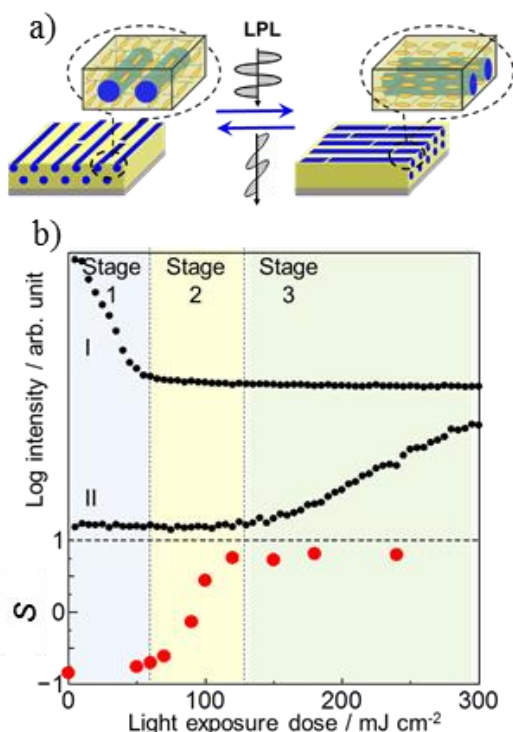


図 3. a) 液晶性高分子ブロック共重合体のマイクロ相分離構造の光配向の模式図。 b) PAz-*b*-PBMA 薄膜への直線偏光照射を行ったリアルタイム GI-SAXS 観察による散乱強度の推移(IおよびII)とアゾベンゼン側鎖の工学的異方性(S) (bottom)。IおよびIIは、それぞれ偏光偏光の電場に対し、平行および垂直方向の散乱強度を測定したもの。

以上の結果から、PBMA-*b*-PAz のマイクロ相分離構造における光再配向は、液晶相およびシリンダー構造を保持した液晶配向ドメインの回転によって行われることが示された。*in-situ* GI-SAXS 測定によるリアルタイム観察では、動的な光再配向が、規則構造の乱れ(Stage 1)、回転による再配向変化(Stage 2)、再配向構造の再成長(Stage 3)の三段階のプロセスを経ていることを突きとめた(図 3)。

2) 超分子液晶構造の導入によるマイクロ相分離に基づく賦形構造形成

PS-*b*-P4VP と AzCOOH から成る水素結合型超分子側鎖型液晶ブロック共重合体(PS-*b*-P4VP/AzCOOH)を設計し、超分子液晶化によるマイクロ相分離構造の配向制御手法の確立、ならびに Az 誘導体を選択的に除去した高分子ナノ構造の新たな構築手法の提

案とその応用検討を行った。

PS-*b*-P4VP/AzCOOH は、超分子に特徴的な IR ピークを示し、DSC および XRD 測定から AzCOOH 単独とは異なるスメクチック相をもつ水素結合性超分子液晶ポリマーであることがわかった。また、用いるブロック共重合体の組成に応じてシリンダーからラメラの MPS パターンを形成することを確認した。これら PS-*b*-P4VP/AzCOOH 薄膜の AFM 観察から、MPS に対応した表面モルフォロジーが見られることがわかった。GI-SAXS パターンから、薄膜の MPS 由来の散乱は、面内方向のみ、P4VP/AzCOOH ブロックの形成する液晶相の回折ピークが面外のみそれぞれ観察された。よって、PS-*b*-P4VP/AzCOOH 薄膜において P4VP/AzCOOH ブロックのスメクチック液晶相がホメオトロピック配向し、基板に垂直に配向した MPS 構造を誘起できることが明らかとなった。

この垂直配向 MPS 構造薄膜をエタノールに浸し、水素結合の切断による AzCOOH の選択的除去を試みた。除去後、MPS 由来のナノ凹凸構造を示すことが FE-SEM 観察から判明し(図 4)、超分子構造から Az 誘導体を選択的に除去され PS 部のナノ構造体を構築できることが明らかとなった。以上の結果により、超分子液晶ブロック共重合体を生かした高分子ナノ構造構築とその応用手法を提案した。

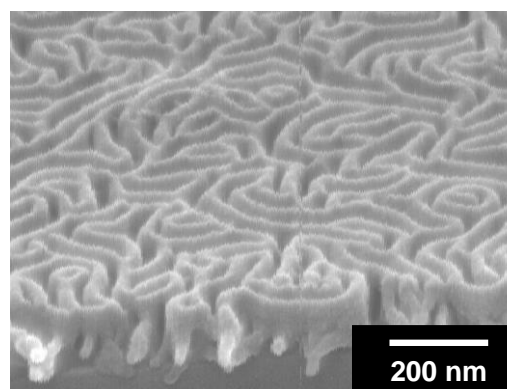


図 4. PS-*b*-P4VP/AzCOOH 薄膜から AzCOOH を溶出除去した凹凸構造

3) 自由界面を利用したマイクロ相分離構造の配向制御

PAz は、ホメオトロピック配向性である。この PAz とポリブチルメタクリレート(PBMA)と同じ液晶ブロック鎖からなる PBMA-*b*-PAz 薄膜では、液晶相およびマイクロ相分離シリンダー構造が基板に対して平行な(プレーナー)配向を示すことがわかっている。これは、表面張力の低い PBMA が空気界面を覆い、アゾベンゼン液晶メソゲンが空気界面に対して垂直に配向しなくなるためである。この垂直配向性の PAz に、PBMA-*b*-PAz を少量添加し、アニール処理を行うと、プレーナー配向が誘起されることを見いだした(図 5)。これは、系のなかの最も表面張力の低い PBMA 成分がマクロな相分離ドメインを

形成することなく表面に偏析し、PBMA-b-PAz 相分離界面が表面と平行に形成されるため、薄膜内部においても PAz のプレーナー配向が誘起されると考察している。

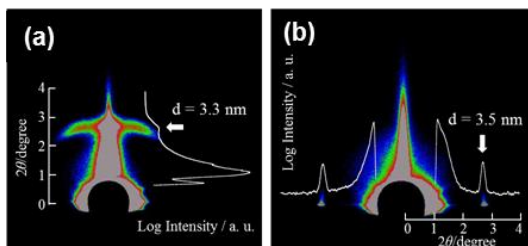


図 5. P5Az10MA 単独膜 (a) と PBMA-b-P5Az10MA (5 wt%)/P5Az10MA ブレンド膜 (b) の GI-SAXS データ：少量の PBMA-b-P5Az10MA の添加により P5Az10MA スメクチック相の配向がホメオトロピックからランダムプレーナー配向に変化する。

光応答性のない液晶ポリマー (P5PB6MA) 薄膜に PBMA-b-PAz をごく少量添加した膜を調製し、加熱処理後、液晶温度下にて直線偏光をパターン露光した。その膜を偏光顕微鏡観察した結果を図 6 に示す。偏光照射パターンに対応した大きな複屈折像が得られ、表面に偏析した PBMA-b-PAz の偏光配向応答により、内部の P5PB6MA 液晶ポリマーの配向が誘起できる。これらの結果は、高分子ブレンドとブロックコポリマーを利用した空気界面制御により、高分子薄膜“内部”の配向制御を行う新しい液晶配向のアプローチである。また、基板界面の処理を必要とせず、塗るだけで光配向を行う新たな液晶デバイスへの可能性も秘めており、高価なブロックポリマーの微量の添加で、新たな機能を達成しうるブロック共重合体の現実的な活用手法として大いに示唆的であると考えられる。

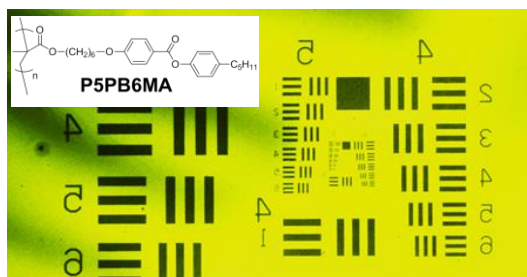


図 6. PBMA-b-P5Az10MA (0.5 wt%) をスメクチック液晶高分子 (P5PB6MA) に添加した薄膜の偏光照射による光パターンニング：少量の BMA-b-P5Az10MA が表面に偏析することで、空気界面からのコマンドサーフェス効果が得られる。

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 35 件)

- 1) D. Tanaka, T. Mizuno, M. Hara, S. Nagano, I. Saito, K. Yamamoto, T. Seki,

“Evaluations of Mesogen Orientation in Thin Films of Polyacrylate with Cyanobiphenyl Side Chain”, *Langmuir*, 32, 3737-3745 (2016). (査読有)

- 2) 永野修作, 田中大介, “液晶高分子薄膜の分子配向と自由界面の影響”, *C&I Commun.*, 41, 21-23 (2016). (査読有)
- 3) S. Nagano, “Inducing Planar Orientation in Side - Chain Liquid Crystalline Polymer Systems via Interfacial Control”, *Chem. Rec.*, 16, 378-392 (2016). (査読有)
- 4) Y. Saito, T. Higuchi, H. Jinnai, M. Hara, S. Nagano, Y. Matsuo, H. Yabu, “Silver Nanoparticle Arrays Prepared by In Situ Automatic Reduction of Silver Ions in Mussel - Inspired Block Copolymer Films”, *Macromol. Chem. Phys.*, 217, 721-721 (2016). (査読有)
- 5) K. Takagi, K. Yamauchi, S. Kubota, S. Nagano, M. Hara, T. Seki, K. Murakami, Y. Ooyama, J. Ohshita, M. Kondo, H. Masu, “Fused π -conjugated imidazolium liquid crystals: synthesis, self-organization, and fluorescence properties”, *RSC Adv.*, 6, 9152-9159 (2016). (査読有)
- 6) T. Nakai, D. Tanaka, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Free Surface Command Layer for Photoswitchable Out-of-Plane Alignment Control in Liquid Crystalline Polymer Films”, *Langmuir*, 32, 909-914 (2016). (査読有)
- 7) M. Sano, M. Hara, S. Nagano, Y. Shinohara, Y. Amemiya, T. Seki, “New Aspects for the Hierarchical Cooperative Motions in Photoalignment Process of Liquid Crystalline Block Copolymer Films”, *Macromolecules*, 48, 2217-2223 (2015). (査読有)
- 8) M. Sano, F. Shan, M. Hara, S. Nagano, Y. Shinohara, Y. Amemiya, T. Seki, “Dynamic photoinduced realignment processes in photoresponsive block copolymer films: effects of the chain length and block copolymer architecture”, *Soft Matter*, 11, 5918-5925 (2015). (査読有)
- 9) M. Akai-Kasaya, Y. Okuaki, S. Nagano, T. Mitani, Y. Kuwahara, “Coulomb Blockade in a Two-Dimensional Conductive Polymer Monolayer”, *Phys. Rev. Lett.*, 115, 196801(1-6) (2015). (査読有)
- 10) T. Takeshima, W. Liao, Y. Nagashima, K. Beppu, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Photoresponsive Surface Wrinkle Morphologies in Liquid Crystalline Polymer Films”, *Macromolecules*, 48, 6378-6384 (2015). (査読有)
- 11) D. Tanaka, Y. Nagashima, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Alternation of side chain mesogen orientation caused by the backbone structure in liquid crystalline

- polymer thin films”, *Langmuir*, 31, 11379-11383 (2015). (査読有)
- 12) D. Yamaoka, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Photoalignable Radical Initiator for Anisotropic Polymerization in Liquid Crystalline Media”, *Macromolecules*, 48, 908-914 (2015). (査読有)
- 13) K Krishnan, H Iwatsuki, M Hara, S. Nagano, Y Nagao, “Influence of Molecular Weight on Molecular Ordering and Proton Transport in Organized Sulfonated Polyimide Thin Films”, *J. Phys. Chem. C*, 119, 21767–21774 (2015). (査読有)
- 14) T. Sato, Y. Hayasaka, M. Mitsuishi, T. Miyashita, S. Nagano, J. Matsui, “High Proton Conductivity in the Molecular Interlayer of a Polymer Nanosheet Multilayer Film”, *Langmuir*, 31, 5174-5180 (2015). (査読有)
- 15) T. Seki, K. Fukuhara, M. Sano, M. Hara, S. Nagano, “Photoalignment of Liquid Crystalline Polymer Films Containing Messtructures and a Free Surface Command Layer”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 614, 118-123 (2015). (査読有)
- 16) M. Sano, T. Murase, M. Hara, S. Nagano, Y. Shinohara, Y. Amemiya, T. Seki, “Photo-switching Behavior of Microphase Separated Structure in Liquid Crystalline Azobenzene Block Copolymers Possessing Different Poly(alkyl methacrylate) Blocks”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 617, 5-13 (2015). (査読有)
- 17) 永野 修作, 関 隆広, “液晶性高分子薄膜の自由界面からの配向制御”, *液晶*, 19, 7-14 (2015). (査読有)
- 18) K. Fukuhara, S. Nagano, M. Hara, T. Seki, “Free-surface molecular command systems for photoalignment of liquid crystalline materials”, *Nat. commun.*, 5, 3320 (2014). (査読有)
- 19) M Sano, S Nakamura, M Hara, S. Nagano, Y Shinohara, Y Amemiya, T. Seki, “Pathways toward Photoinduced Alignment Switching in Liquid Crystalline Block Copolymer Films”, *Macromolecules*, 47, 7178-7186 (2014). (査読有)
- 20) K. Krishnan, H. Iwatsuki, M. Hara, S. Nagano, Y. Nagao, “Proton conductivity enhancement in oriented, sulfonated polyimide thin films”, *J. Mater. Chem. A*, 2, 6895-6903 (2014). (査読有)
- 21) K. Krishnan, T. Yamada, H. Iwatsuki, M. Hara, S. Nagano, K. Otsubo, “Influence of Confined Polymer Structure on Proton Transport Property in Sulfonated Polyimide Thin Films”, *Electrochemistry*, 82, 865-869 (2014). (査読有)
- 22) J. W. Park, S. Nagano, S. J. Yoon, T. Dohi, J. Seo, T. Seki, S. Y. Park, “High Contrast Fluorescence Patterning in Cyanostilbene - Based Crystalline Thin Films: Crystallization - Induced Mass Flow Via a Photo - Triggered Phase Transition”, *Adv. Mater.*, 26, 1354-1359 (2014). (査読有)
- 23) K. Fukuhara, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Free Surface-Induced Planar Orientation in Liquid Crystalline Block Copolymer Films: On the Design of Additive Surface Active Polymer Layer”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 601, 11-19 (2014). (査読有)
- 24) K. Ichimura, S. Nagano, “Individual photoreorientation of non-aggregated and aggregated azobenzene side chains tethered to a liquid-crystalline polymer determined by higher order derivative spectra”, *RSC Advances*, 4, 52379-52383 (2014). (査読有)
- 25) G. Cui, M. Fujikawa, S. Nagano, K. Shimokita, T. Miyazaki, S. Sakurai, K. Yamamoto, “Macroscopic Alignment of Cylinders via Directional Coalescence of Spheres along Annealing Solvent Permeation Directions in Block Copolymer Thick Films”, *Macromolecules*, 47, 5989-5999 (2014). (査読有)
- 26) G. Cui, M. Fujikawa, S. Nagano, M. Sano, H. Takase, T. Miyazaki, S. Sakurai, K. Yamamoto, “Perpendicular oriented cylinders via directional coalescence of spheres embedded in block copolymer films induced by solvent annealing”, *Polymer*, 55, 1601-1608 (2014). (査読有)
- 27) K. Yamamoto, K. Ohara, G. Cui, R. Tanaka, D. Shimada, S. Nagano, M. Sano, S. Sakurai, K. Shimokita, T. Miyazaki, “Solvent Annealing Induced Perpendicular Orientation of Microdomains in Block Copolymer Thin Films”, *高分子論文集*, 71, 104-111 (2014). (査読有)
- 28) K. Fukuhara, Y. Fujii, Y. Nagashima, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Liquid-Crystalline Polymer and Block Copolymer Domain Alignment Controlled by Free-Surface Segregation”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 52, 5988-5991 (2013). (査読有)
- 29) H. A. Haque, S. Kakehi, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “High Density Liquid Crystalline Azobenzene Polymer Brush Attained by Surface-Initiated Ring Opening Metathesis Polymerization”, *Langmuir*, 29, 7571-7575 (2013). (査読有)
- 30) H. A. Haque, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Photoinduced In-plane Motions of Azobenzene Mesogens Affected by the Flexibility of Underlying Amorphous Chains, *Macromolecules*”, *Macromolecules*, 46, 8275-8283 (2013). (査読有)
- 31) M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Spontaneous

Formation of Vertically Aligned Lamellae in Thin Films of Block Copolymer-Silica Hybrid Material”, *Bull. Chem. Soc. Jap.*, 86 (10), 1151-1157(2013) (Selected Paper) (査読有)

- 32) H. A. Haque, S. Nagano, T. Seki, “Effect of flexible chain length on the photoorientation behavior of surface-grafted liquid crystalline azobenzene block copolymer brush”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 583, 10-20 (2013). (査読有)
- 33) M. Akai-Kasaya, Y. Okuaki, S. Nagano, A. Saito, M. Aono, Y. Kuwahara, “Isotropic charge transport in highly ordered regioregular poly (3-hexylthiophene) monolayer”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 46, 425303 (2013). (査読有)
- 34) G. Cui, S. Ohya, T. Matsutani, S. Nagano, T. Dohi, S. Nakamura, S. Sakurai, “Perpendicular orientation of sub-10 nm channels in polystyrene-b-poly (4-hydroxyl styrene)/PEG oligomer blend thin films”, *Nanoscale*, 5, 6713-6719 (2013). (査読有)
- 35) T. Seki, S. Nagano, M. Hara, “Versatility of photoalignment techniques: From nematics to a wide range of functional materials”, *Polymer*, 54, 6053-6072 (2013). (査読有)

[学会発表] (計 206 件)

- 1) S. Nagano, “Hierarchical Active Motions in Microphase Separated Nanostructure of Liquid Crystalline Azobenzene Block Copolymer”, IUMRS-ICA2014, 2014 年 8 月 27 日, 福岡大学.
- 2) S. Nagano, “Hierarchical liquid crystalline structure in high proton conductive sulfonated polyimide films”, 2015 環太平洋国際化学会議 (PACIFICHEM2015), 2015 年 12 月 19 日, Hawaii Convention Center.
- 3) S. Nagano, “Hierarchical Molecular Motions in the Photoreorientation Process for Liquid Crystalline Block Copolymer Films”, Japan-Korea Joint Symposium 2015, 2015 年 10 月 29 日, Kitakyushu, International Conference Center, Kitakyushu.
- 4) 永野修作, 関 隆広, “液晶性ブロック共重合体薄膜の光配向挙動の階層的理解”, 第 64 回高分子討論会, 2015 年 9 月 15 日, 東北大学川内キャンパス
- 5) 永野修作, “自由界面からの高分子液晶薄膜の配向制御”, 第 18 回液晶化学研究会シンポジウム, 2016 年 6 月 14 日, 香川大学工学部
“機能性高分子の組織制御”, 関西学院大学理工学部講演会, 2014 年 5 月 16 日, 関西学院神戸三田キャンパス
- 6) 永野修作, 関 隆広, “液晶性アゾベンゼンブロック共重合体薄膜のマイクロ相分

離構造の光制御”, 第 62 回高分子学会討論会, 2013 年 9 月 12 日, 金沢大学

- 7) S. Nagano, M. Sano, S. Nakamura, T. Seki, “Active Photoalignment of Microphase Separation Cylinders in a Liquid Crystalline Azobenzene Block Copolymer thin film”, International Symposium on Photochromism 2013 (ISOP2013), 2013 年 9 月 27 日, Berlin, Germany
- 8) 永井美帆, 原光生, 永野修作, 関 隆広, “POSS 側鎖とアゾベンゼン側鎖を持つランダム共重合体の自己集合による規則構造の形成”, 日本化学会第 96 春季年会, 2016 年 3 月 24 日, 同志社大学京田辺キャンパス
- 9) 大塚祐実, 原光生, 永野修作, 関隆広, “配向性の異なる液晶高分子鎖からなるブロック共重合体薄膜のマイクロ相分離構造”, 2016 年 3 月 24 日, 同志社大学京田辺キャンパス
- 10) 永島悠樹, 原光生, 永野修作, 関隆広, “液晶高分子が形成するマイクロ相分離シリンドラー構造の 3D 光配向スイッチ”, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 27 日, 名古屋大学
- 11) 別府功一朗, 原光生, 永野修作, 関 隆広, “光応答性液晶-液晶ジブロック共重合体薄膜における両メソゲンおよびマイクロ相分離構造の光配向制御”, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 27 日, 名古屋大学

他 195 件

[図書] (計 1 件)

- 1) T. Seki, M. Hara, S. Nagano, “Photoinduced Alignment and Structuring in Thin Films of Azobenzene-Containing Liquid Crystalline Polymers”, *New Frontiers in Photochromism*, 79-99 (2013), Springer.

[その他]

研究室ホームページ :

<http://www.apchem.nagoya-u.ac.jp/06-BS-2/sekilabo/index-j.html>

プレスリリース 1 :

http://www.aip.nagoya-u.ac.jp/public/nu_research_ja/highlights/detail/0001277.html

プレスリリース 2 :

http://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload_images/20140224_eng.pdf

6. 研究組織

(1) 研究代表者

永野 修作 (NAGANO SHUSAKU)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号 : 40362264