

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 30 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550250

研究課題名(和文) 準希薄溶液中で生成するマイクロ相分離構造とグレイン構造の形成メカニズム

研究課題名(英文) Mechanism of grain structure formation and microdomain structures in semi-dilute solutions of block copolymers

研究代表者

岡本 茂 (Shigeru, Okamoto)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50262944

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：ブロック共重合体/選択溶媒/共通溶媒の溶液中で形成されるマイクロ相分離構造の特徴と制御方法について研究を行った。中性子散乱測定のコントラスト変調法により、自重による圧縮があるにもかかわらず、溶液下部の構造ほどそのドメイン周期は大きいことが明らかとなった。次いで、上記構造中における溶媒の分布を研究したところ、同様の混合溶媒でもトルエン/メタノールは2相に別れて分布し、THF/水は共にメタクリレート相に多く偏って分布することがわかった。さらに発展させ、2相に別れて分布する選択溶媒と共通溶媒の組み合わせにより構造周期が高分子濃度に依存しない系を発見した。

研究成果の概要(英文)：Gravity effect was measured by the SANS contrast variation method on a block copolymer, water and THF solution in a 20cm long cell to observe a structural change along the gravity force. Surprisingly, the result showed the structural period at lower position in the cell is larger. This may be caused by the collective sedimentation of the microdomains. The spatial distribution of the constituent molecules in the phase-separated solutions were measured by the same technique. THF and water were mainly distributed into a PMMA phase, while toluene was mainly distributed into a PS phase and methanol was separately distributed into a PMMA phase. Solutions of large-molecular-weight polystyrene-block-polyisoprene prepared in a neutral solvent DOP and immiscible selective solvents DMP and C14 displayed reflectance spectra shifting across the whole of the visible light region. This technique is a powerful approach to achieving structures with photonic properties.

研究分野：高分子構造・物性、ソフトマテリアル

キーワード：ブロック共重合体 選択溶媒 SANS ミクロ相分離構造 SAXS

1. 研究開始当初の背景

これまで超高分子量のブロック共重合体を用いた3次元PCの創製を試みてきた。一般に、高分子ブロック共重合体を構成する高分子同士は互いに非相溶であり、相分離して分子サイズと同程度の大きさの周期構造を自己組織的に形成する(マイクロ相分離構造)。非常に大きな分子量の高分子ブロック共重合体では、光の波長オーダーの周期構造を得ることができる。実際、申請者は『日本学術振興会基盤研究(C)(一般)、「微小重力環境を利用した金属ナノ微粒子を含有する高分子フォトニック結晶の創製』において、分子量が10⁶g/mol程度の超高分子量ブロック共重合体の作製に成功した。しかしながら、超高分子量のために絡み合い点密度が高くなり、バルクでは構造の緩和時間が長すぎて、数ミリメートルの厚みのキャストフィルムでは高秩序の構造が得られなかった(Fig. 1)。



Fig. 1 溶媒蒸発法により成膜したフィルム

同様の研究はマサチューセッツ工科大学のThomasらが精力的に行っており、溶媒蒸発法により成膜したフィルムを1次元のフォトニック結晶へ応用する例を報告している(Macromolecules, 39, 1913-1919, 2006)。しかし、その可視分光スペクトルのピークの半値全幅は数十ナノメートルもありその秩序性は非常に低い。我々以外では、これまでのところ最も秩序高いと思われる構造は薄膜でしか得られていない(Yoon J.; Lee W.; Thomas E. L. nanoletter, 6, 10, 2211-2214, 2006)。そこで、我々は共通溶媒を添加して系の粘度を下げて、構造緩和の時間を短縮することを考えた。実際、ポリマー濃度の低下とともに、分光スペクトルのピーク幅が著しく減少する事を確認した。しかしフォトニック結晶として利用できるほどではなかったので、さらに低濃度(数%)にした。ところが、分子量が非常に高いといえども相分離構造が消滅し無秩序状態に至ってしまった。ポリスチレン-b-ポリメチルメタクリレート(PS-b-PMMA)をテトラヒドロフラン(THF)に溶解した例を Fig. 2 に示した。しかし、ここで大変興味ある事には、この溶液に非溶媒(この例では水)を添加するとマイクロ相分離が誘起される事を発見した(Fig. 2)。

これは僅かながらも水がPMMA鎖に溶解性があるため、THF/水の混合溶媒が強い選択溶媒として働いたためと考えられる。実際、中性子散乱法とレオロジー法を用いて、溶媒の選択性とその空間分布がこの相分離現象を理解するために重要なポイントであることを『文科省科研費補助金特定領域研究(ソフトマター物理)、「ブロック共重合体準希薄溶液中で選択溶媒に誘起されたマイクロ相分離構造のダイナミクス』の研究において明らかにした。さらに、異なるブロック共重合体系においても適切な共通溶媒と選択溶媒の

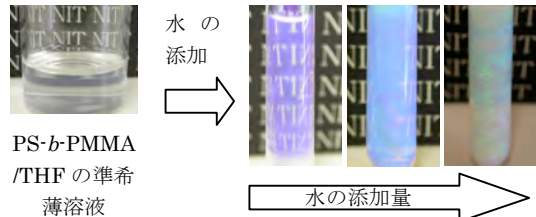


Fig. 2 非溶媒添加による相分離の誘起

組み合わせを用いれば、同様の現象が起こることを発見した(『日本学術振興会基盤研究(C)(一般)、「新規に発見した準希薄溶液中で生成するマイクロ相分離構造の普遍性とその形成メカニズム』)。さらに、貧溶媒添加による秩序-無秩序転移領域の近傍において、グレイン構造(配向の揃ったマイクロドメイン構造の集合体)のサイズが非常に大きくなり、数センチメートルの大きさにまで成長(Fig. 3)する事を発見した。

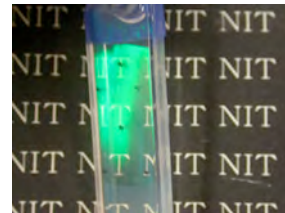


Fig. 3 1cm×4cm×2mmの巨大グレイン

また、その分光スペクトルのピーク幅は数ナノメートル以下となり、非常に高秩序な構造が得られた。この構造を利用して、我々は既に(1)レーザー共振器の創製(Fig. 4)、および(2)光カー効果を利用した光学非線形材料の創製に成功している(Tsuchiya et al., OPTICS EXPRESS, Vol. 16, No. 8, pp. 5362-5371, 2008)。



Fig. 4 巨大グレインからのレーザー発振

2. 研究の目的

上述の構造にはさらに興味ある現象がおこることに気づいた。それは発現したマイクロ相分離構造の周期には重力方向に分布があることを発見したことである。単に下の構造が圧縮を受けているのではなく、むしろ下の構造の周期の方が大きい事がわかる。溶媒とブロック共重合体の比重を合わせると、この現象が消失すると考えられるが、この方法は採用できない。つまり、前述のごとく混合溶媒の種類とその組成がこの相分離には重要であるため比重をも合わせるのとは不可能である。まずは本申請でこの構造が形成されるメカニズムを解明したい。それには先ず、中性子散乱法により、重力効果のもとで形成される構造の詳細を明らかにする。次いで、巨大グレイン中における溶媒の分布を明らかにし、構造形成メカニズムの解明を試みる。さらに、巨大グレインが成長するメカニズムを突き止め、より高機能な3次元PC創製の基礎を構築したい。

3. 研究の方法

溶液中に形成された構造の中性子散乱測定には Institute of Laue Langevin (ILL, 仏) を利用した。試料には重水素化ポリスチレンとポリメチルメタクリレートとの共重合体 (PS 体積分率 0.57) を用い、溶媒には重水素化および非重水素化テトラヒドロフラン (h-THF, d-THF) および水 (H_2O , D_2O) を用いた。カメラ距離は 8m と 39m を用いて、それぞれ透過率測定と散乱測定を行った。また、溶液中に形成される構造の各相に含まれる成分の調査には HANARO の 40M SANS ビームライン (韓国) を用いた。試料にはポリスチレン-ポリメチルメタクリレートブロック共重合体 ($M_n=240K$, PS 体積分率 0.43) を用いた。溶媒は同じく、h-THF, d-THF と H_2O , D_2O の混合溶媒を用いた。以上の実験は d 体と h 体の混合比率を変化させてコントラスト変調法により行った。

また、溶媒の選択性の構造への影響は小角 X 線散乱法 (SAXS) および紫外-可視分光法を利用した。この実験にはさらにスチレン-イソプレンプロック共重合体を合成した。

4. 研究成果

結果 1. 構成分子の空間分布と重力効果
高さ 20cm のセルを用いて、球状構造を形成するブロック共重合体 (BCP) / 水 / THF 溶液中で形成する構造を重力方向に小角中性子散乱 (SANS) 法による観察した。測定には上述の 4 種類の d 体と h 体の混合物を利用してコントラスト変調を用いた。構造周期は最も圧縮を受けると考えられる下部において最も大きいという結果だった。これは、重力方向の濃度勾配によると考えられる。しかしながら、同等のホモポリマーで実験した時には重力方向の濃度勾配は観測されなかった。これは、巨大な高分子を含む分子は容易に熱運動により均一に攪

拌されるからである。BCP 溶液で見られた周期の勾配は、マイクロドメイン構造の集団的な沈降によるものではないかと考えられる。

結果 2. 同等の BCP 溶液中の構成分子の空間分布 (小角中性子散乱法)

測定には、BCP 濃度 26% を用い、d 体と h 体の溶媒の組み合わせを用いてコントラスト変調法により測定した。まず、溶媒としてトルエンまたは THF を用いたときは、どちらの溶媒もポリスチレン (PS) に選択的であるため、PS 相に多く存在していた。トルエンの PS への偏在の割合は THF のそれより少し大きかった。しかしながら、THF/水、トルエン/メタノールの混合溶媒では非常に異なる結果が得られた。THF/水の溶液を用いた場合、THF と水はともに PMMA 相に偏在し、PS には少なく存在した。それはあたかも、THF と水の混合溶媒が単一の溶媒として振舞ったかのようであった。一方、トルエン/メタノール混合溶液ではトルエンは PS 相に、メタノールは PMMA 相に分離して可溶化していた。

結果 3. 溶媒の選択性変化の構造形成に与える効果

ここでは 3 種類の BCP を用いて、選択溶媒と中性溶媒による構造への効果を検討した。構造解析は小角 X 線散乱法 (SAXS) と紫外-可視分光法により行った。

分子量の異なるスチレン (PS)-イソプレン (PI) ブロック共重合体を試料として用いた。溶媒にはジオクチルフタレート (DOP)、ジメチルフタレート (DMP)、テトラデカン (C14) を用いた。DMP と C14 は非常に非相溶であり、それぞれ PS と PI に強く選択的に相溶した。一方、DOP は中性溶媒であり、2 つの相に均一に分散することが知られている。SAXS 測定から、BCP 濃度および溶媒組成によりラメラ周期が大きく変化することがわかった。中性の DOP 添加によりブロック間の偏斥力が遮蔽されることにより、ドメイン間隔が減少した。

分子量の異なる BCP (SI-60: 分子量 60×10^3 、SI-117: 分子量 117×10^3) を用いた結果、それらが形成する構造は溶媒組成すなわち選択性の変化に対して同等の増減を示しその大きさは分子量によりスケールできることがわかった。

さらに分子量の大きな SI-655 (分子量 655×10^3) を用いて様々な組成の混合溶媒に可溶化した。しかし、その高分子量のため高濃度では巨視的な相分離を起こしてしまった。シリンダー構造へ転移することを防いでラメラ構造を保つために、DMP の体積組成を少し減らして DMP と C14 の比を 39:61 とした。この理由は、SI-117 においても DMP: C14 = 51:49 では、小さな組成領域ではあるが、シリンダー構造を示したための処置である。SI-655 の分子量が十分

大きいため、その溶液中の構造周期も十分に大きく可視光を反射することができ構造色が観察された。その反射スペクトルを Fig. 5 に示した。345 から 793nm の波長領域においてシャープな反射ピークが観測され、ピーク位置はポリマー濃度と溶媒組成に依存していた。長波長領域のピーク幅は短波長領域のそれに比べて比較的広がった。しかしながら、それぞれのピーク波長で規格化したピーク幅は $\pm 43\%$ のエラーの範囲でばらつきがあったものの、ほぼ変化がなくピーク幅とピーク波長との間に相関は認められなかった。Fig. 5 において最も長波長側から 3 つの溶液からの反射スペクトルには、300nm 以上の観測領域に 2 次の高調波も観察されたが、図の見易さのためにあえて高調波は削除し 1 次ピークのみプロットしてある。高分子濃度と溶媒組成の変化にともなう Fig. 5 の測定に用いた溶液全てでも平均屈折率の変化は 1.484 から 0.7% の範囲の小さなものであった。それゆえ、反射ピーク波長の変化は、主にドメインスペーシングの変化によるものと結論づけることができる。

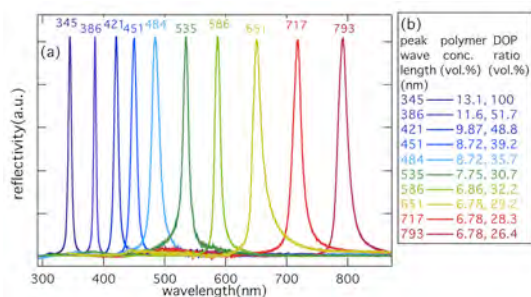


Fig. 5. SI-655 溶液からの反射分光スペクトル (a)、および、高分子濃度と溶媒の組成 (b)。

紙面の都合上、結果は省略するが、さらに、自己無撞着場理論に基づくシミュレーションソフト「SUSHI」を用いて実験で使用した溶液中に形成されるマイクロドメイン構造の周期、および溶液組成変化にともなう相分離構造中の構成分子の空間分布を計算した。選択溶媒と中性溶媒の混合溶媒を用いた BCP 溶液はフォトニック結晶を創製する上で非常に強力な手法であることが示された。

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 3 件)

1. Tunable Photonic Crystals: Control of the Domain Spacings in Lamellar-Forming Diblock Copolymers by Swelling with Immiscible Selective Solvents and a Neutral Solvent. [Macromolecules, 47 (20), (2014), 7169-7177] Akifumi Matsushita, Shigeru Okamoto

2. BCC Grain Formation Triggered by Miscibility Jump on Temperature Drop. [Macromolecules, 48 (6), (2015), 1813-1823] Akifumi Matsushita, Shigeru Okamoto, Eiko Tamura, Tadashi Inoue

3. Strong temperature dependencies of diblock copolymer domain spacing in a solvent mixture comprising ternary domain spacing in a solvent mixture comprising ternary components with varied selectivity. [Polymer Journal, (2015), 1-6] Akifumi Matsushita, Shigeru Okamoto

[学会発表] (計 4 2 件)

1. highly variable domain spacing of lamellae in PS-b-PI solutions using PS selective and PI selective solvents [第 61 回高分子討論会] (2012年09月19日 - 2012年09月21日, 名古屋工業大学) 松下明史/岡本茂/井上正志

2. ミクロドメイン構造をホストとする金ナノロッドの配向制御と非線形光学物性 [第61回高分子討論会] (2012年09月19日 - 2012年09月21日, 名古屋工業大学) 岡本茂 /岩田 朗宏/早川 知克

3. 超高分子量ブロック共重合体の準希薄溶液を用いたフォトニック結晶の創製 [第61回高分子討論会] (2012年09月19日 - 2012年09月21日, 名古屋工業大学) 岡本茂

4. Temperature Dependence of Domain Spacing of Microdomain Structures with Various n-Alkanes as selective solvents [第61回高分子討論会] (2012年09月19日 - 2012年09月21日, 名古屋工業大学) Yusuke Yoshida/Shigeru Okamoto/Mayu Okada

5. Giant Grain Formation of Block Copolymers in Semi-Dilute Solutions and Application to Photonic Crystals [International Union of Materials Research Societies - International Conference on Electronic Materials 2012] (2012年09月23日 - 2012年09月28日, Yokohama, Japan) Shigeru Okamoto

6. 選択溶媒を用いたブロック共重合体準希薄溶液中におけるグレイン成長メカニズム [第 60 回レオロジー討論会] (2012年09月26日 - 2012年09月28日, 名古屋大学) 松下明史/岡本茂/田村英子/井上正志

7. 混合選択溶媒中で形成されたラメラ構造の偏斥力 [第24回高分子加工技術討論会] (2012年10月15日 - 2012年10月16日, 名古屋市工業研究所) 松下明史/岡本茂

8. 小角 X 線散乱法およびシミュレーションによるジャイロイドおよびダブルダイヤモンド共連続構造の研究 [第24回高分子加工技術討論会] (2012年10月15日 - 2012年10月16日, 名古屋市工業研究所) 野村憲吾/高木秀彰/西川幸宏/岡本茂/山本勝宏/Glenn Fredrickson

9. 直鎖状アルカン中で形成されるマイクロ相分離構造の偏斥力の温度依存性 [第24回高分子加工技術討論会] (2012年10月15日

- 2012年10月16日, 名古屋市工業研究所) 吉田優介/岡本茂/岡田麻由/柴田優

10. 異なる直鎖状アルカンを用いたブロック共重合体溶液における温度変化による偏斥力変化 [第 56 回日本学術 会議材料工学連合講演会] (2012年10月29日 - 2012年10月30日, 京都テルサ) 吉田優介/岡本茂/岡田麻由/柴田優

11. 選択溶媒の混合系におけるマイクロ相分離構造の偏斥力変化 [第 56 回日本学術会議材料工学連合講演会] (2012年10月29日 - 2012年10月30日, 京都テルサ) 松下明史/岡本茂

12. 小角 X 線散乱法およびシミュレーションによるジャイロイドおよびダブルダイヤモンド共連続構造の研究 [第56 回日本学術会議材料工学連合講演会] (2012年10月29日 - 2012年10月30日, 京都テルサ) 野村憲吾/高木秀彰/西川幸宏/岡本茂/山本勝宏/Glenn Fredrickso

13. ブロック共重合体が準希薄溶液中で形成する高秩序マイクロ相分離構造とフォトニック結晶への応用 [第 48 回 X 線分析討論会] (2012年10月31日 - 2012年11月02日, 名古屋大学) 岡本茂

14. Domain Spacing of Microphase-Separated Structures in Triple Selective Solvents[15th International Small-Angle Scattering Conference 2012] (2012年11月18日 - 2012年11月23日, Sydney Convention and Exhibition Centre (Australia)) 松下明史/岡本茂

15. Paracrystalline Analysis of Thermoreversible Order-Order Transition between OBDD and OBDG in PS-b-PI / PI Blends[15th International Small-Angle Scattering Conference 2012] (2012年11月18日 - 2012年11月23日, Sydney Convention and Exhibition Centre (Australia)) Okamoto Shigeru / Nomura Kengo / Nishikawa Yukihiko / Takagi Hideaki / Yamamoto Katsuhiko

16. Microdomain Structures with High Refractive Index Difference Induced by Selective Solvents in Semi-Dilute Solutions of Block Copolymers and Application to Non-linear Optical Devices[The 9th SPSJ International Polymer Conference (IPC2012)] (2012年12月11日 - 2012年12月14日, Kobe, Japan) Shigeru Okamoto/Akifumi Matsushita/Yuya Yamamoto

17. SAXS AND PARACRYSTALLINE STUDY ON THERMOREVERSIBLE ORDER-ORDER TRANSITION BETWEEN OBDD AND OBDG[POLYCHAR21] (2013年03月11日 - 2013年03月15日, Gwangju, Korea) Kengo Nomura/Hideaki Takagi/Yukihiko Nishikawa/Shigeru Okamoto/Katsuhiko Yamamoto/Glenn Fredrickson

18. 放射光を利用した高分子材料の研究とその応用 [繊維学会東海支部講演会] (2013

年03月25日 - 2013年03月25日, 瀬戸市) 岡本茂

19. Polystyrene-b-polyisoprene/homopolymerブレンド系に発現した共連続ダブルダイヤモンド型相分離構造 [第62 回高分子学会年次大会](2013年05月29日 - 2013年05月31日, 京都) 金山 和馬、高崎 勉、山本 勝宏、秋葉 勇、岡本 茂

20. 選択溶媒を用いた高屈折率差を有するマイクロ相分離構造形成 [第 62 回高分子学会年次大会] (2013年05月29日 - 2013年05月31日, 京都) 山本 祐也、松下 明史、岡本 茂

21. 粘弾性挙動で見るジブロックコポリマー溶液が形成する BCC 構造のグレインの形成と発展 [第 62 回高分子学会年次大会] (2013年05月29日 - 2013年05月31日, 京都) 松下 明史、岡本 茂、井上 正志、田村 英子

22. Photonic Crystals Formed in Semi-Dilute Solutions of Block Copolymers and Application to Non-Linear Optical Devices[第34回日豪高分子シンポジウム] (2013年07月07日 - 2013年07月10日, Darwin, Australia) Shigeru Okamoto

23. ジブロック共重合体を用いた RGB レーザー共振器の創製 [平成 25 年度繊維学会秋季研究発表会] (2013年09月05日 - 2013年09月06日, 名古屋) 植田光、池田章彦、岡本茂

24. ジブロック共重合体を用いた、赤から青にわたるレーザー発振 [第 62 回高分子討論会] (2013年09月11日 - 2013年09月13日) 植田光、池田章彦、岡本茂

25. ブロック共重合体溶液中での共通溶媒と非溶媒の空間分布 [第 25 回高分子加工技術討論会] (2013年10月21日 - 2013年10月22日, 名古屋) 安藤幸治, 松下明史, 斎藤樹, 岡本茂

26. ミクロ相分離構造を用いた全可視光域にわたるレーザー共振器の創製 [第 25 回高分子加工技術討論会] (2013年10月21日 - 2013年10月22日, 名古屋) 植田光, 池田章彦, 岡本茂

27. ジブロックコポリマーへの混合選択溶媒導入による面間隔と屈折率差変化 [第 25 回高分子加工技術討論会] (2013年10月21日 - 2013年10月22日, 名古屋) 松下明史, 岡本茂

28. Spatial Distribution of Good and Non-Solvents[第13回太平洋高分子会議] (2013年11月17日 - 2013年11月22日, Kaousiung) Koji Ando, Akifumi Matsushita, Itsuki Saito, Shigeru Okamoto

29. Block Copolymers with High Refractive Indices for Non-Linear Optical Devices[第13回太平洋高分子会議] (2013年11月17日 - 2013年11月22日, Kaousiung) Shigeru Okamoto, Akifumi Matsushita, Yuya Yamamoto

30. Enhancement of Refractive Index Difference between Domains of Diblock Copolymer Solution by Selective Solvents[第13回太平洋高分子会議](2013年11月17日 - 2013年11月22日, Kaousiung) Akifumi Matsushita, Shigeru Okamoto, Akihiko Ikeda

31. ブロック共重合体を用いたフォトニック結晶の創成 [アドバンテックセミナー2014] (2014年01月22日 - 2014年01月22日, 東京) 岡本茂

32. 高屈折率差を有するブロック共重合体準希薄溶液のフォトニック結晶への応用 [平成 25 年度東海シンポジウム] (2014年01月23日 - 2014年01月24日, 名古屋) 岡本茂

33. Domain Spacing Control by Two Immiscible Selective Solvents [International Workshop for East Asian Young Rheologist] (2014年02月05日 - 2014年02月08日, Seoul) Remi Miyamachi, Akifumi Matsushita, Kengo Nomura, Shigeru Okamoto

34. Single Diamond in Equilibrium State [International Workshop for East Asian Young Rheologist] (2014年02月05日 - 2014年02月08日, Seoul) Itsuki Saito, Akifumi Matsushita, Akihiko Ikeda, Shigeru Okamoto

35. SANS and SAXS Study on Microphase-Separated Structures of Block Copolymers in Selective Solvents and Application to Photonic Crystals[The 6th Taiwan-Japan Joint Meeting on X-ray and Neutron Scattering] (2014年03月09日 - 2014年03月12日, Taipei) Shigeru Okamoto

36. Spatial Distribution of Good and Non-Solvents in Block Copolymer Solution[POLYCHAR 22 World Forum on Advanced Materials](2014年04月07日 - 2014年04月11日, Stellenbosch, South Africa) Koji Ando, Akifumi Matsushita, Itsuki Saito and Shigeru Okamoto

37. Enhancement of Refractive Index Contrast in Block Copolymer Solutions using Selective Solvent Mixtures for Photonic Crystals[POLYCHAR 22 World Forum on Advanced Materials] (2014年04月07日 - 2014年04月11日, Stellenbosch) Koji Ando, Akifumi Matsushita, Itsuki Saito and Shigeru Okamoto

38. Photonic Block Copolymer Solutions with Refractive Contrast Enhanced by Selective Solvents of Different Solvent Quality[Kathmandu Symposia on Advanced Materials - 2014] (2014年09月04日 - 2014年09月07日, Kathmandu) Shigeru Okamoto

39. Effect of Particle Distortion on SAXS from OBDD studied using Paracrystalline Theory[第63回高分子討論会](2014年09月24日 - 2014年09月26日, 長崎) Kengo Nomura, Shigeru Okamoto

40. Photonic Polymer Solutions with Refractive Index Enhanced by Selective Solvents of Different Solvent Quality[International Symposium on Fiber Science and Technology 2014] (2014年09月28日 - 2014年10月01日, 東京) Shigeru Okamoto, Koji Ando, Akifumi Matsushita and Itsuki Saito

41. Enhancement and Suppress of Segregation Power in Block Copolymer Solutions by Changing Composition of Solvent Mixtures[International Symposium on Fiber Science and Technology 2014] (2014年09月28日 - 2014年10月01日, 東京) Remi Miyamachi, Akifumi Matsushita, Kengo Nomura and Shigeru Okamoto

42. 粒子形状の歪みを考慮した OBDD 構造の SAXS シミュレーション [第56回日本学術会議材料工学連合講演会](2014年10月29日 - 2014年10月30日, 京都) 野村憲吾、岡本茂

[産業財産権]

該当なし

[その他]

ホームページ等

http://researcher.nitech.ac.jp/html/222_ja.html?l=ja&k=有機分野&o=name-a&p=1

<http://okamotolab.web.nitech.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 茂 (OKAMOTO, Shigeru)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50262944

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし