

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	空間選択的光重合による相分離構造の配向制御とメカニズム解析
Title(English)	Orientation control and mechanistic analysis of phase-separated structures formed by spatially selective photopolymerization
著者(和文)	中村 紘菜
Author(English)	Hirona Nakamura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第322号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:穴戸 厚,山元 公寿,芹澤 武,中嶋 健,久保 祥一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第322号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学 応用化学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	中村 紘菜		審査員主査： Chief Examiner	宍戸 厚

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「Orientation control and mechanistic analysis of phase-separated structures formed by spatially selective photopolymerization (空間選択的光重合による相分離構造の配向制御とメカニズム解析)」と題して、相分離構造の光制御に関する研究成果が英文で記されており、全 6 章より構成されている。 第 1 章「General Introduction (序論)」では、相分離構造制御による機能創出や制御技術について説明するとともに、本研究の目的や意義について述べている。 第 2 章「Fabrication of Periodic Phase-separated Structure by Scanning Wave Photopolymerization (動的光重合による周期的な相分離構造の形成)」では、動的光重合を用いて周期構造を有する高分子フィルムを作製し、形成した構造の形態や分子配向を詳細に検討している。高分子フィルムの断面における偏光顕微鏡観察から、シリンダー構造の形成を明らかにしている。また、詳細な偏光顕微鏡観察および偏光ラマンマッピング測定により、分子がシリンダー構造に沿って周期的に配向変化していることを明らかにしている。 第 3 章「Real-time Observation of SWaP Process and Image Analysis Using Two-dimensional Fast Fourier Transform (動的光重合過程のリアルタイム観察および 2 次元フーリエ変換を用いた画像解析)」は、動的光重合過程におけるシリンダー構造の形成挙動や分子配向挙動について検討している。オープニコル下における動的光重合過程のリアルタイム観察により、周期構造が相分離により形成することを解明している。また、構造形成および分子配向変化が動的光重合過程において誘起されることを見出している。さらに、リアルタイム観察画像の解析により、相分離構造の形成挙動と分子配向変化の時間的関係を解明している。 第 4 章「Detailed Mechanistic Analysis of Periodic Phase-separated Structure Formed by Spatially Selective Photopolymerization (空間選択的光重合を利用した周期的相分離構造の詳細な形成メカニズム解析)」では、シリンダー構造の形成初期過程に注目して詳細な形成メカニズム解明を検討している。スリット光を動かさずに照射する空間選択的光重合を用いて、重合初期段階でドロップレット状の相分離構造が形成することを明らかにしている。さらに、ドロップレット構造がポリマーの濃度勾配方向に応じて異方的に成長し、シリンダー構造を形成することを見出している。また、空間選択的光重合過程における光回折挙動を解析することで、相分離構造の形成と分子配向変化が生じるタイミングの解明に成功している。 第 5 章「Control of Phase-separated Structures and Molecular Alignment and Evaluation of Optical Properties (相分離構造と分子配向の制御および光学特性の評価)」では、照射する光パターンを設計し、相分離構造の形態制御を検討している。周期的にロッドが並んだパターンを動かしながら照射することで、サイクロイド状の分子配向誘起および相分離構造形成に成功している。光学特性を評価するために He-Ne レーザー光を入射したところ、サイクロイド状の分子配向分布および相分離構造に沿った微視的な分子配向分布に由来して、4 方向に回折する挙動を見出している。相分離構造および分子配向を制御することで、ユニークな光学素子の創製に成功している。 第 6 章「Summary and Perspectives (総括と展望)」では、本論文で得られた研究成果を総括するとともに、今後の課題と研究展望を述べている。 以上を要するに本論文では、動的光重合により形成する周期構造の形成メカニズムを解明することにより、ポリマーの濃度勾配を利用した新たな相分離構造制御法の提案について述べている。さらに、特異的な回折挙動を有する光学材料の開発に成功している。相分離は多くの混合系において見られる普遍的な現象であるために原理上汎用性が高く、相分離する 2 種以上の材料系を目的に応じて自由に選択可能である。多彩な機能を発現する次世代の機能性ソフトマテリアル設計の基盤技術となり得ることから、工学上貢献するところが大きい。したがって本論文は、博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。
--

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学 応用化学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	中村 紘菜		審査員主査： Chief Examiner	穴戸 厚

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Structural control of phase separation allows the enhancement of material functionalities due to the structure-property relationships. Several control methods utilizing drying, temperature change, or chemical reactions have been developed. However, controlling the mesoscopic orientation of phase-separated structures over a large area remains a significant challenge due to their random nature. Recently, a novel concept controlling molecular/mesoscopic orientation, termed scanning wave photopolymerization (SWaP), has been proposed. SWaP utilizes a scanned slit light to drive molecular diffusion and induce molecular alignment in the direction of diffusion. During this research, the spontaneous formation of periodically ordered microscale structures by SWaP was serendipitously discovered. It is hypothesized that the structure results from phase separation of monomers and polymers; however, the underlying formation mechanism remains elusive. In this thesis, the author investigated the formation mechanism of the periodic structure to propose a novel strategy for aligning phase-separated structures through SWaP.

The author investigated the morphology and molecular alignment of the film fabricated by SWaP. The scanning irradiation with a slit UV light resulted in the formation of ordered microscale structures, wherein the molecules were aligned along the microscale structures in a complex manner. Furthermore, image analysis revealed the formation process of oriented phase-separated structures and the molecular alignment behavior. In the polymer film fabricated by spatially selective photopolymerization, periodic structures were observed at the border between irradiated and unirradiated areas, indicating that polymer concentration gradients play a key role in the formation of periodic phase-separated structure.

Based on the elucidated mechanism, the author attempted to control the phase-separated structure and evaluated the optical properties of the resulting film. By designing the shape of the irradiated UV pattern to regulate the direction of the polymer concentration gradient, it was found that curved phase-separated structures were formed according to the irradiation pattern. The polymer film fabricated by the designed UV pattern exhibited a unique optical diffraction behavior, which has potential applications in novel optical devices.

This research will contribute to engineering advancements, as it could serve as a fundamental technology for designing next-generation functional soft materials with diverse functionalities.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).