

コレステリック液晶を利用した 回折格子による 微小レンズへの応用

立命館大学 生命科学部 応用化学科
教授 堤治

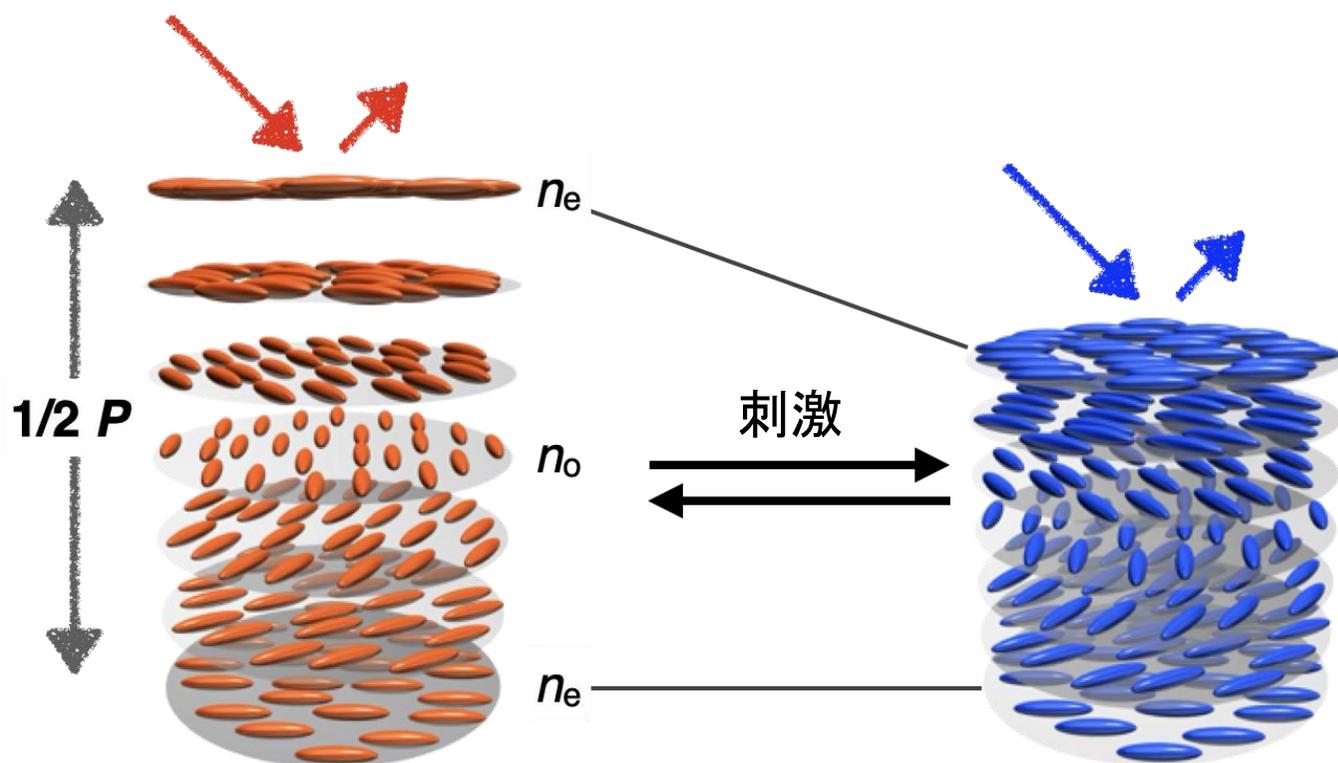
2024年10月3日

背景

最先端のイメージング技術を日常に浸透させる 材料による生活革命・新文化の創成

- セキュリティ印刷，超解像イメージング，3Dイメージング，AR（拡張現実） → 高度な光技術。**エンターテインメント分野や医療，教育分野でも期待**
- **光の位相や偏光を時空間制御する材料と技術が鍵**
- **高度な光学機能をプラスチックのフィルムで実現**
- **小型で，薄くて，軽いデバイスで実現可能：最先端のイメージング技術を日常生活に浸透させる！**

コレステリック液晶

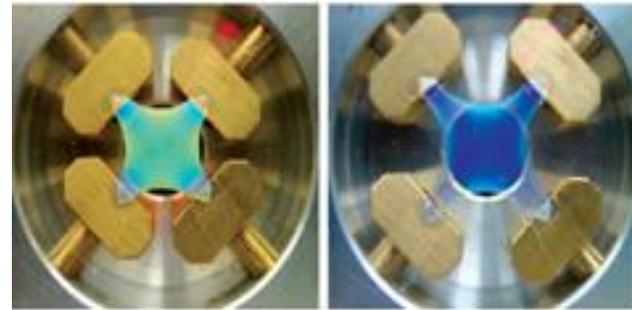
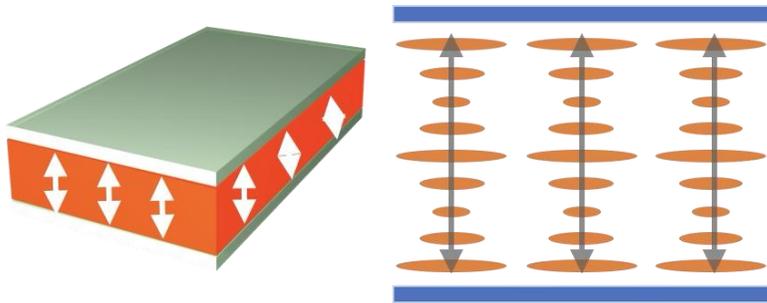


- コレステリック液晶は、その螺旋状の分子配列により、円偏光の選択的反射などの独特な光学特性を示す
- 螺旋構造は、温度、電場、機械的ストレスなどの外部刺激によって容易に制御でき、これに伴って光学物性も調整可能

コレステリック液晶

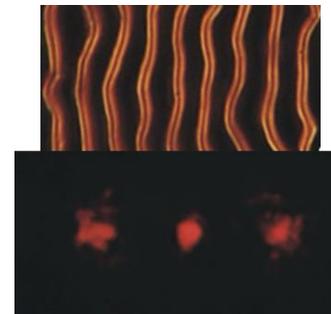
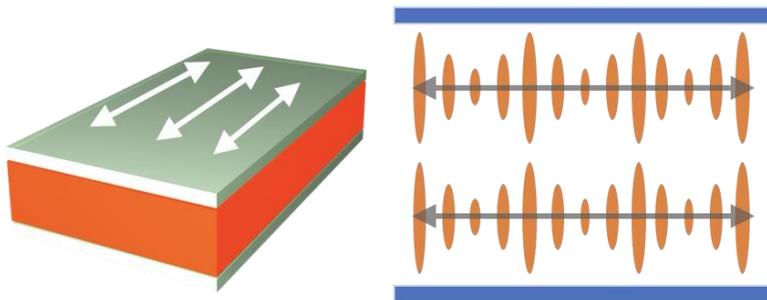
コレステリック液晶の光学物性：らせん制御が鍵

らせん軸の面外配向：選択反射機能



Finkelmann. *et al. Adv. Mater.*, **13**, 1069 (2001)

らせん軸の面内配向：回折機能



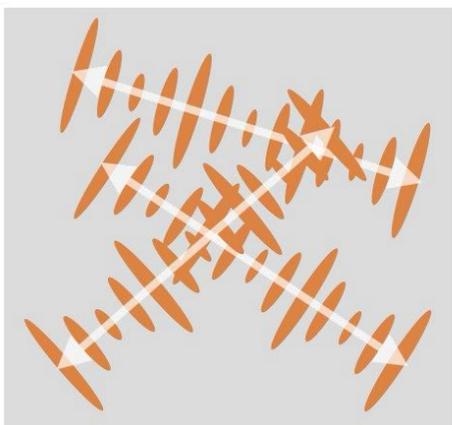
Gvozдовskyy. *et al. Opt. Express*, **20**, 3499 (2012)

らせん軸の向きは基盤表面の配向規制により制御できる

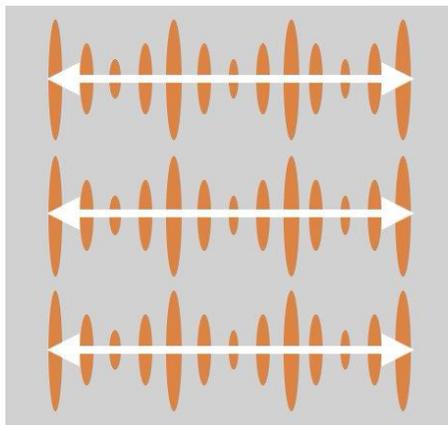
従来技術とその問題点

らせん軸を面内で規則正しく配向させる手法が存在しない！

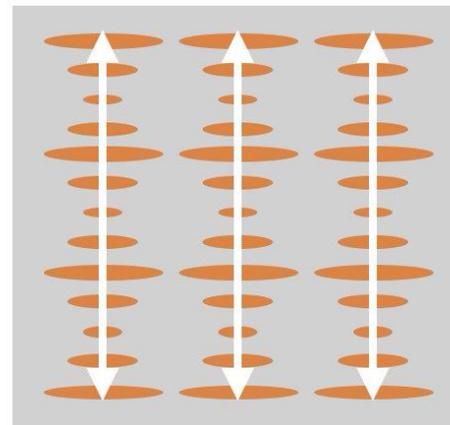
らせん軸の面内配向制御



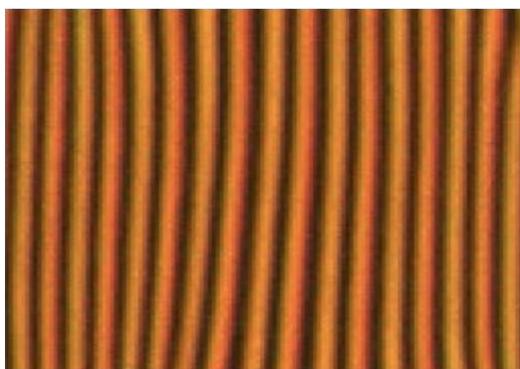
ランダムな面内配向



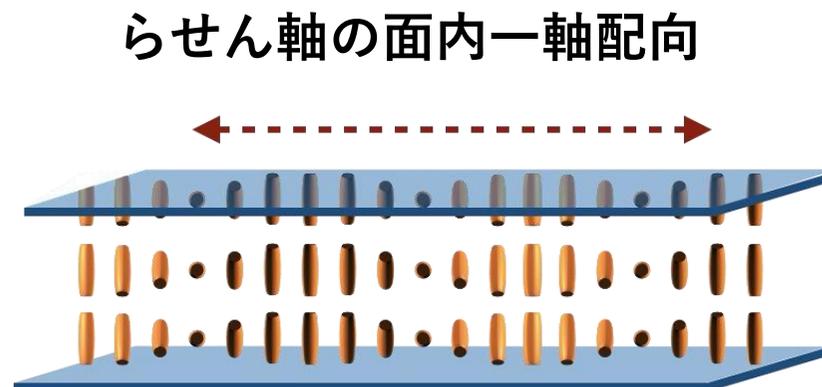
秩序的な面内配向



新技術：傾斜光重合による らせん軸の面内配向制御

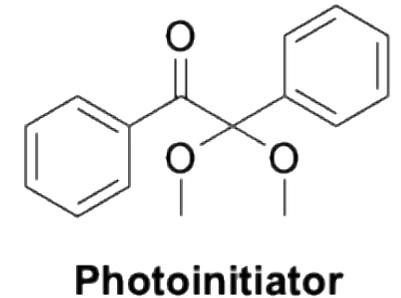
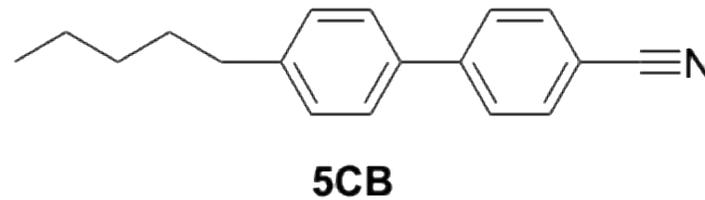
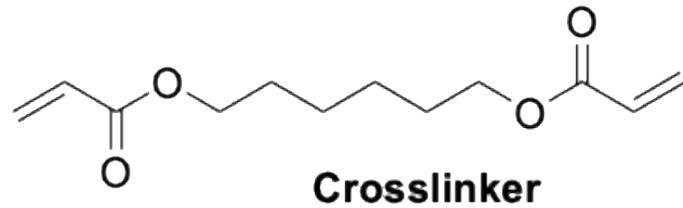
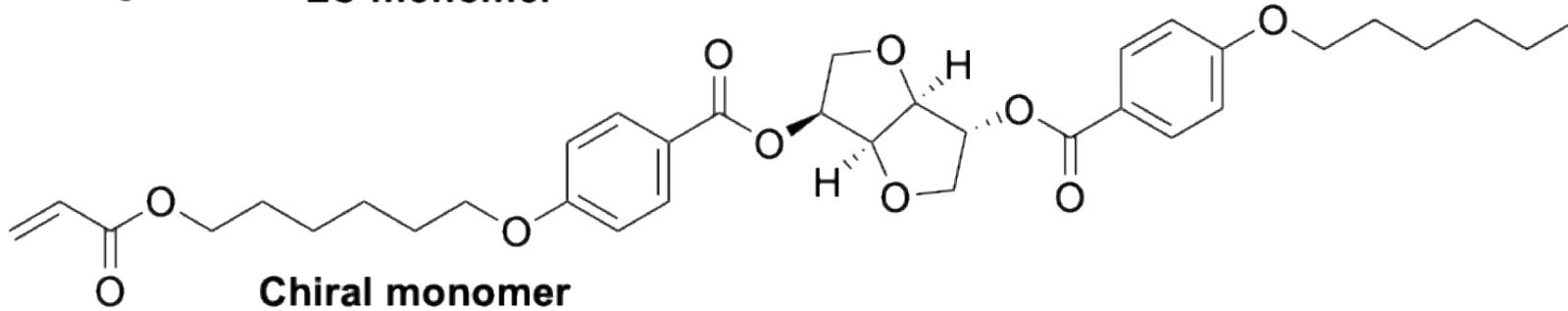
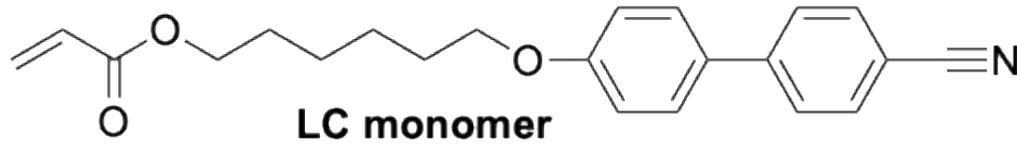


高分子液晶フィルムの偏光顕微鏡写真



- らせん軸の精密な面内配向制御が可能となる極めてシンプルな方法
- 高い空間分解能：ナノスケールの精度で微細なパターンや勾配を作成可能
- 幅広い応用範囲：先進的な光学材料，センサー，およびフォトリソグラフィデバイスの製造に有用

材料

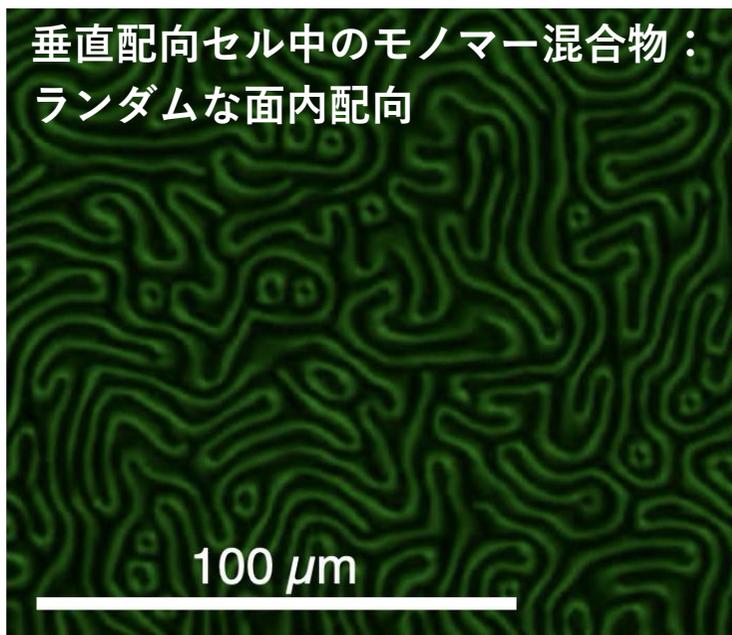


モノマー混合物の組成 (モル比)

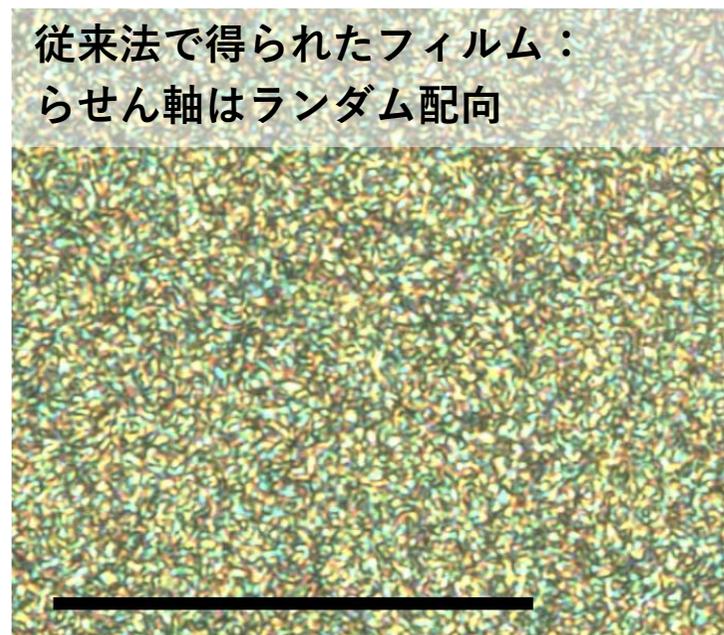
LC monomer	Chiral monomer	Crosslinker	5CB	Photoinitiator
52	0.18	0.50	48	1.0

液晶性分子 (メソゲン) の約半分は非重合性の低分子液晶

モノマー混合物と 従来法で得られる高分子フィルム



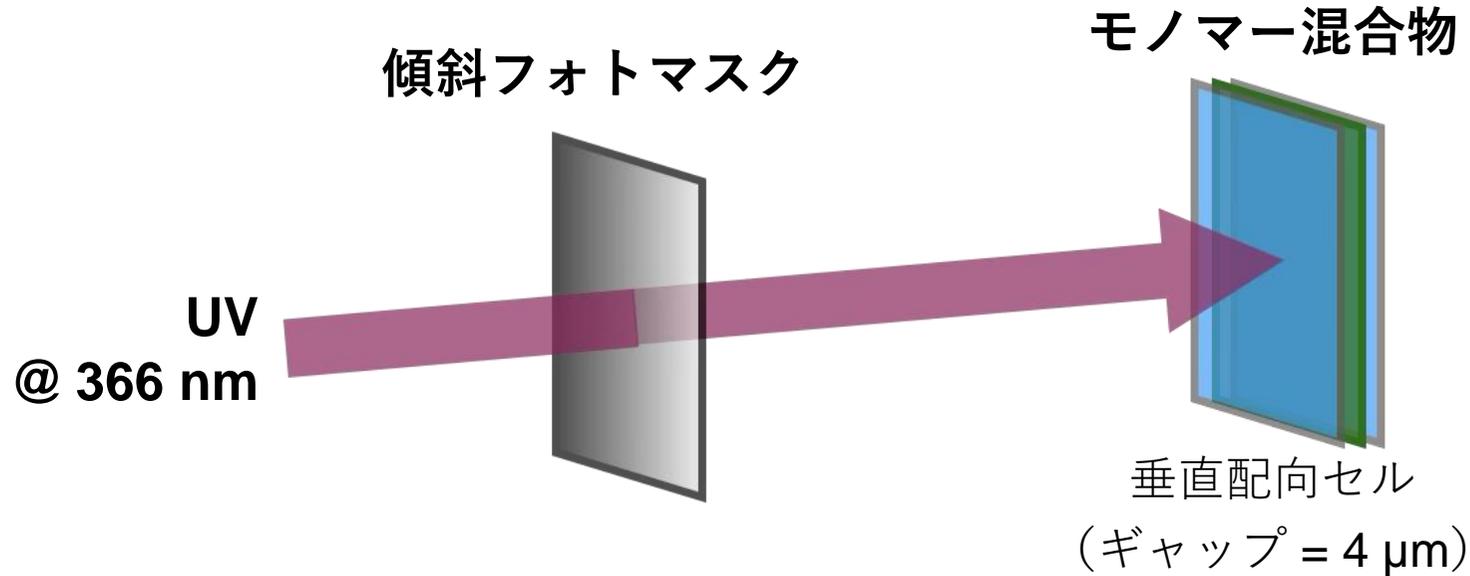
$T_c = 34\text{ }^\circ\text{C}$



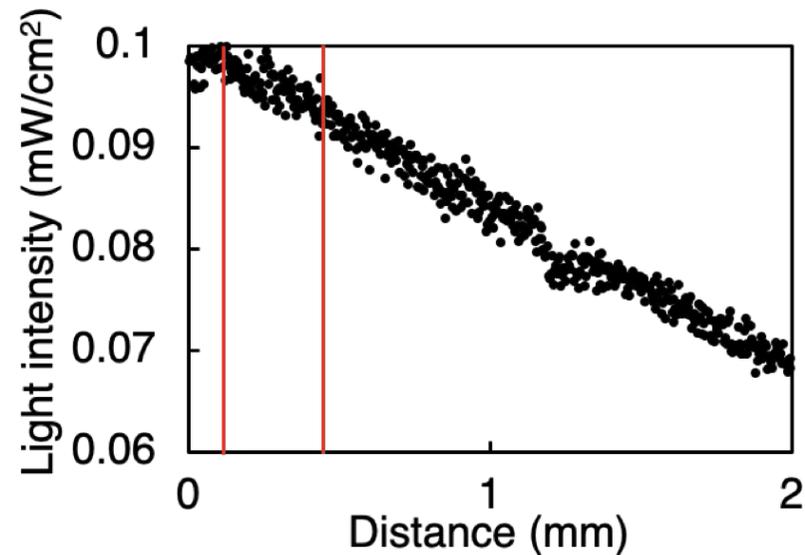
$T_c = 74\text{ }^\circ\text{C}$

- 重合前(モノマー混合物)：指紋パターン ➡らせん軸の面内ランダム配向
- 「従来の」光重合後：小さなドメイン内でのらせん軸がランダム配向

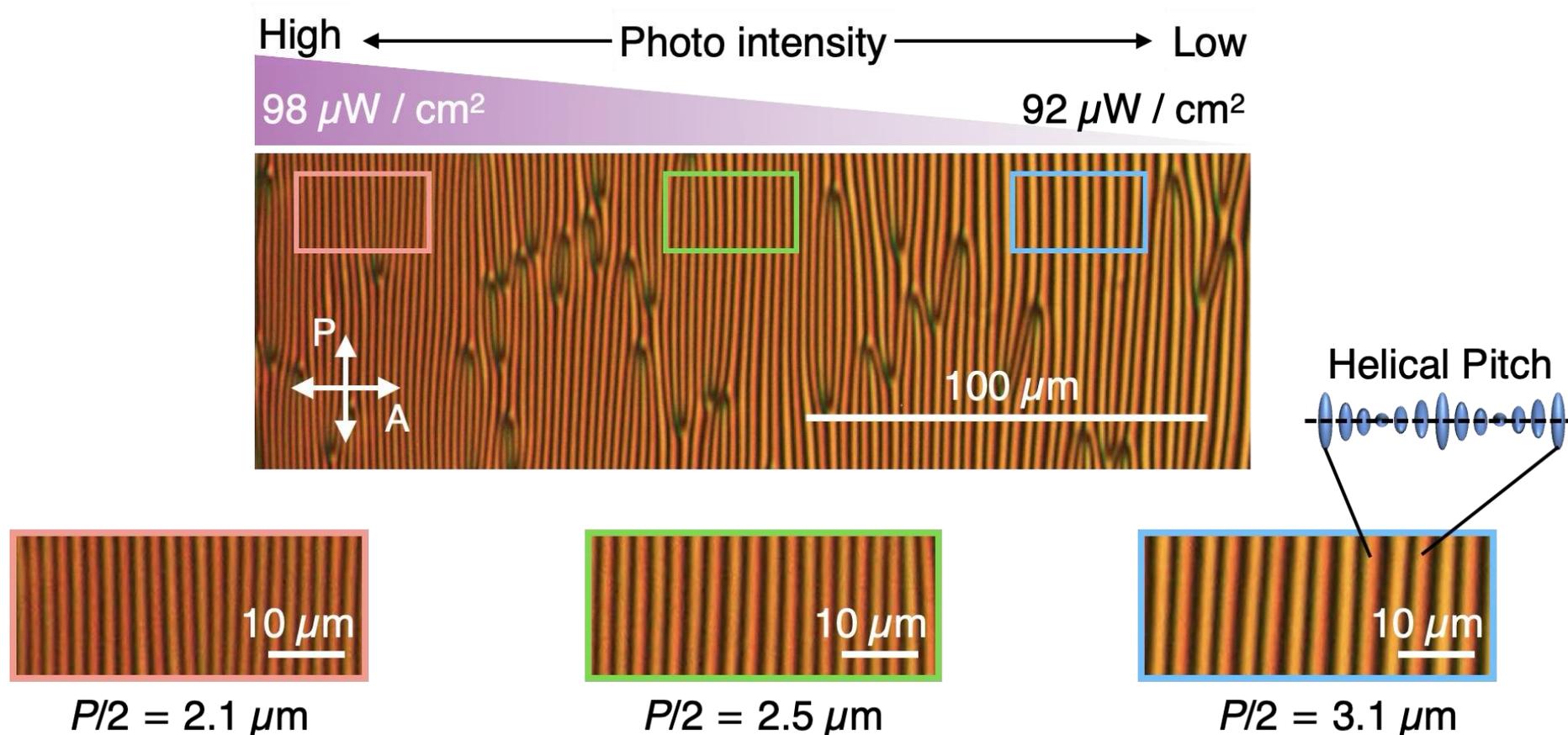
新技術：傾斜光重合



試料表面における照射光の
空間プロファイル

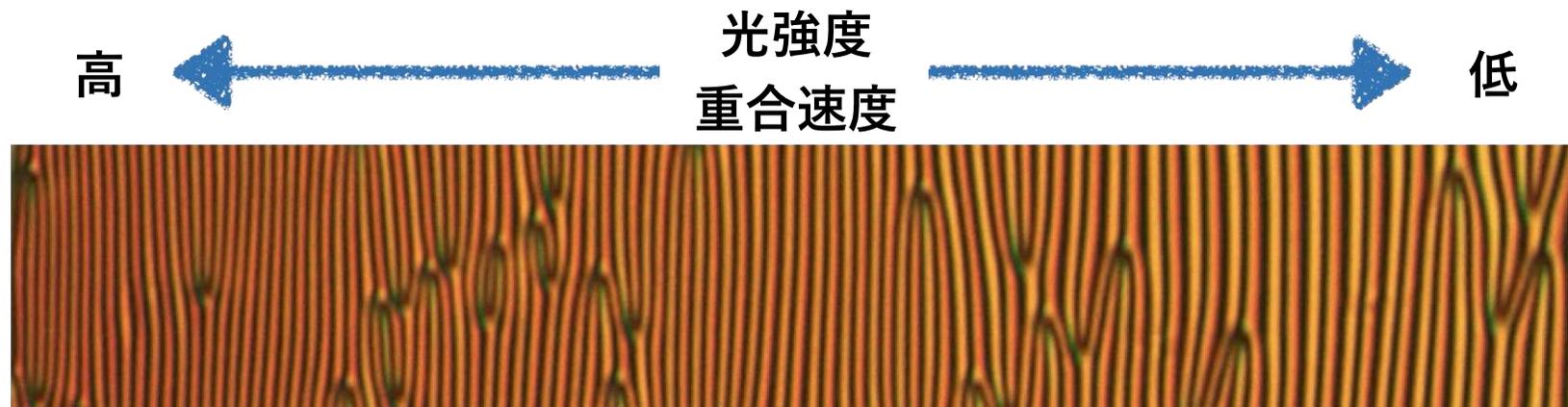


傾斜光重合により得られたフィルム

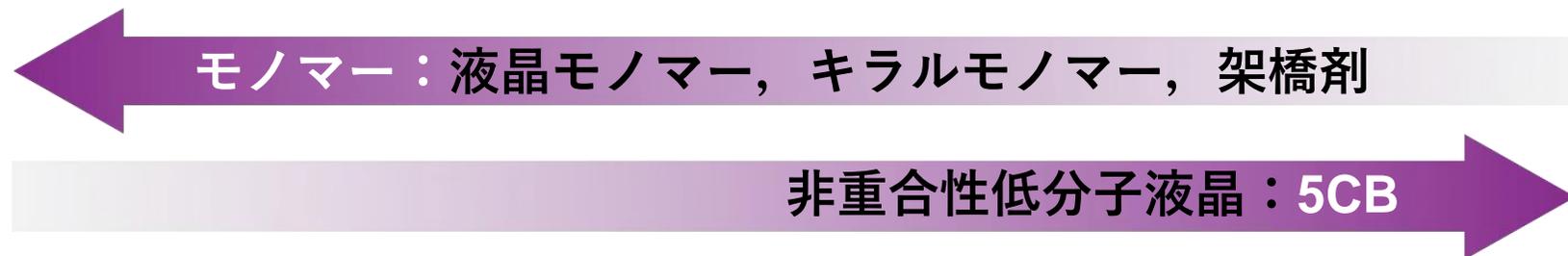


- 縞状組織 → らせん軸の面内一軸配向
- らせんピッチが面内で徐々に変化 → キラルモノマーの濃度分布形成

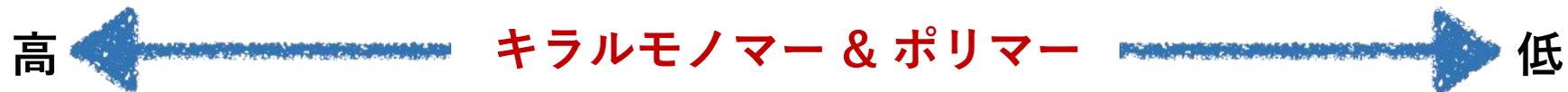
傾斜光重合中の分子の動き



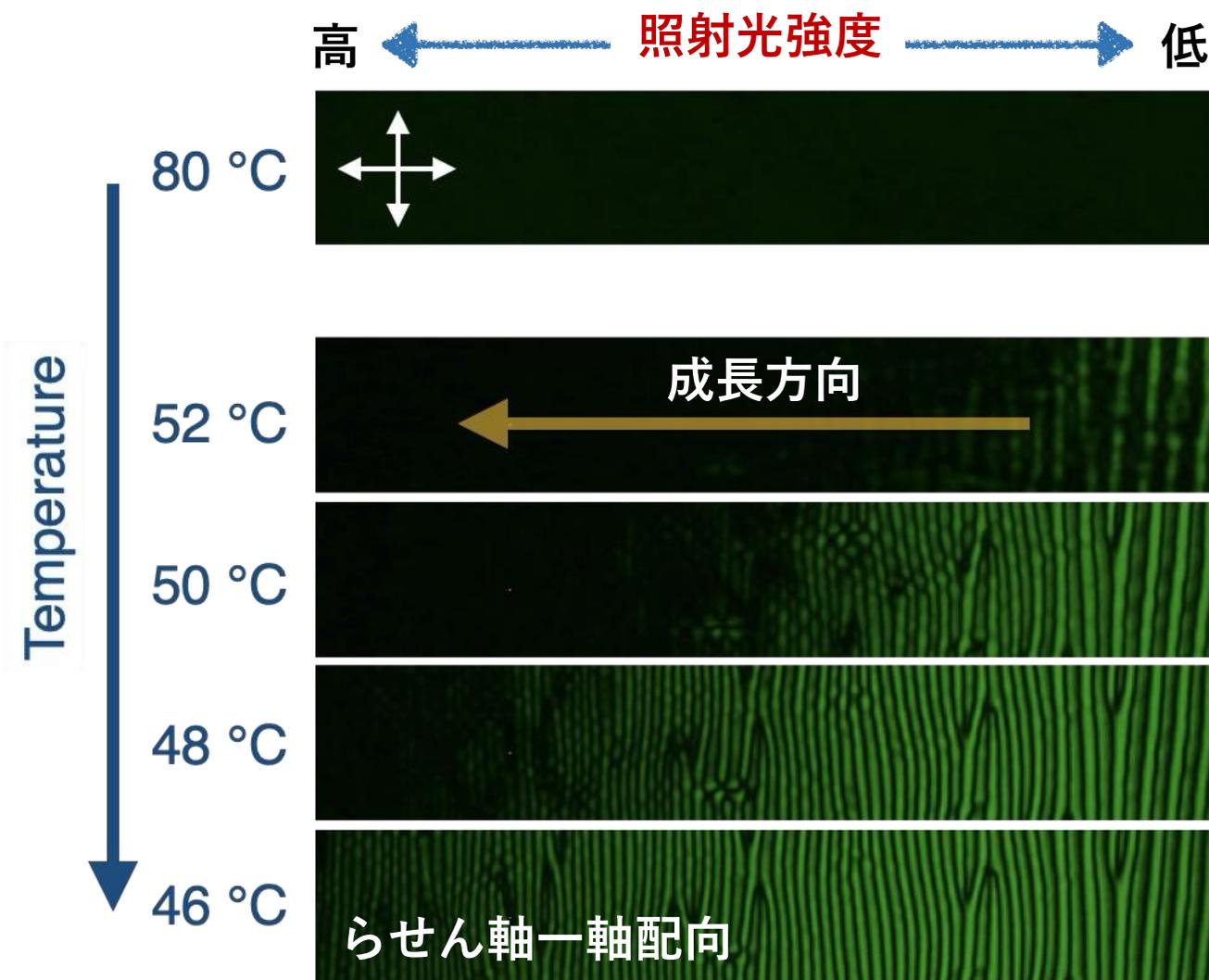
分子の拡散



空間分布

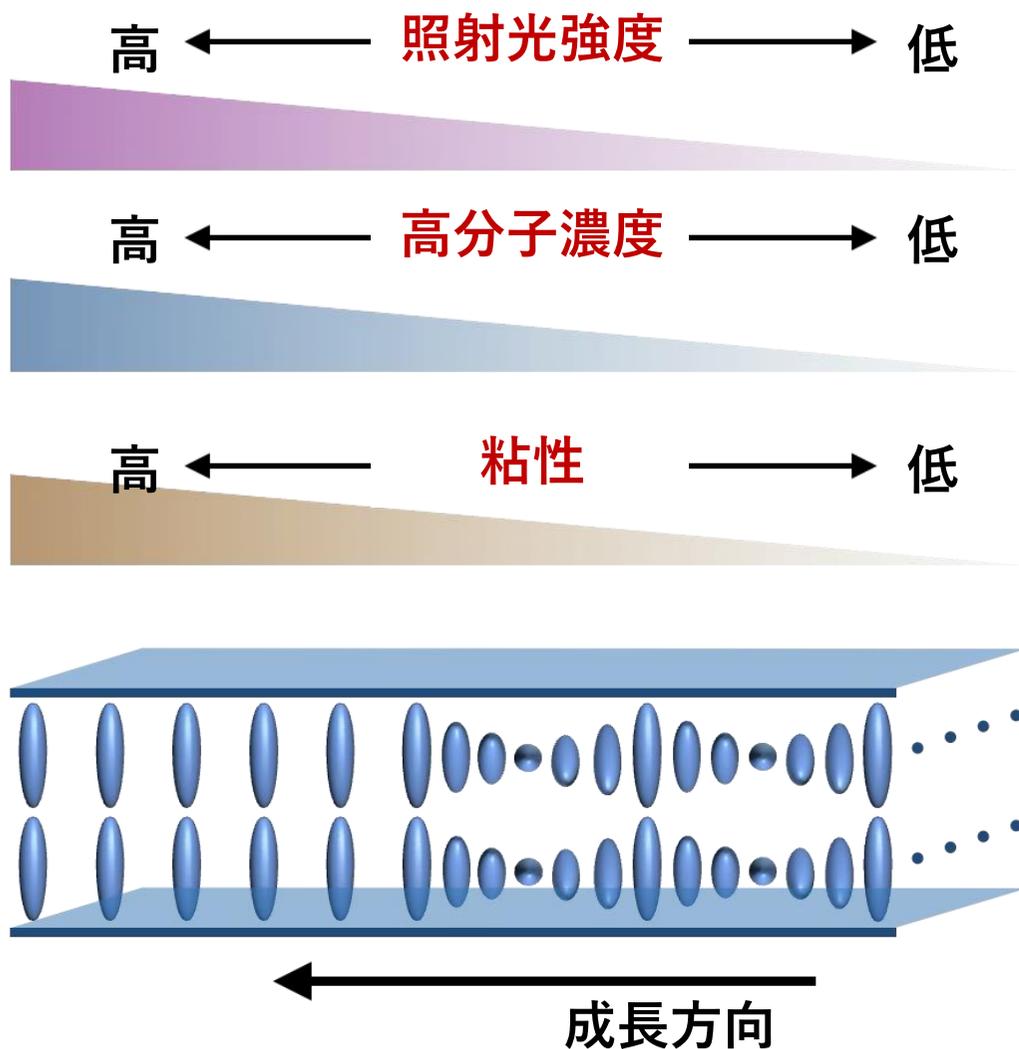


らせん配向の形成過程



- らせん配向は、低UV強度の領域から現れる
- らせん配向は、低強度領域から高強度領域へ成長
- 「方向付けられた」らせん配向の成長が観察された

らせん軸の一軸配向の形成メカニズム



- 強度に傾斜のある光はポリマー濃度の勾配を誘起
 - 高強度：高ポリマー濃度 & 高粘度
 - 低強度：低ポリマー濃度 & 低粘度
- 螺旋構造は、低粘度領域から成長
- 方向づけられた成長が螺旋軸の一軸面内配向を誘起

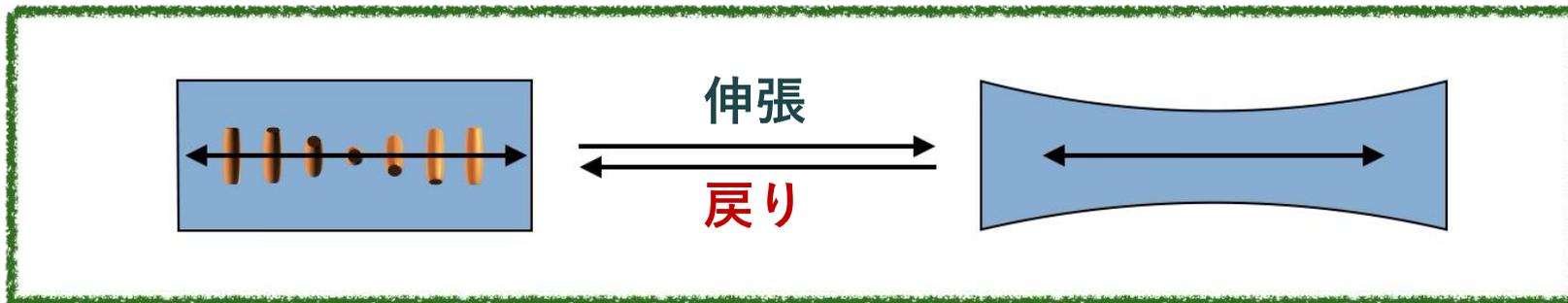
新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術では極めて困難であったコレステリック液晶の**らせん軸の面内配向制御を高分子フィルムで達成**
- 極めて**シンプル**な方法であるため、大面積フィルムへの拡張や複雑な配向パターンニングも可能
- 誘起された面内一軸配向は**熱や光などに対して安定**
- 使用するモノマーなどの材料系には依存しない**汎用的ならせん軸制御手法**

想定される用途

- **回折格子・センサー**：外場応答可能なスマートな光学材料
- **表面に凹凸のないレンズ**： $\sim\mu\text{m}$ サイズの微小レンズやマイクロレンズアレイを簡便に作成可能

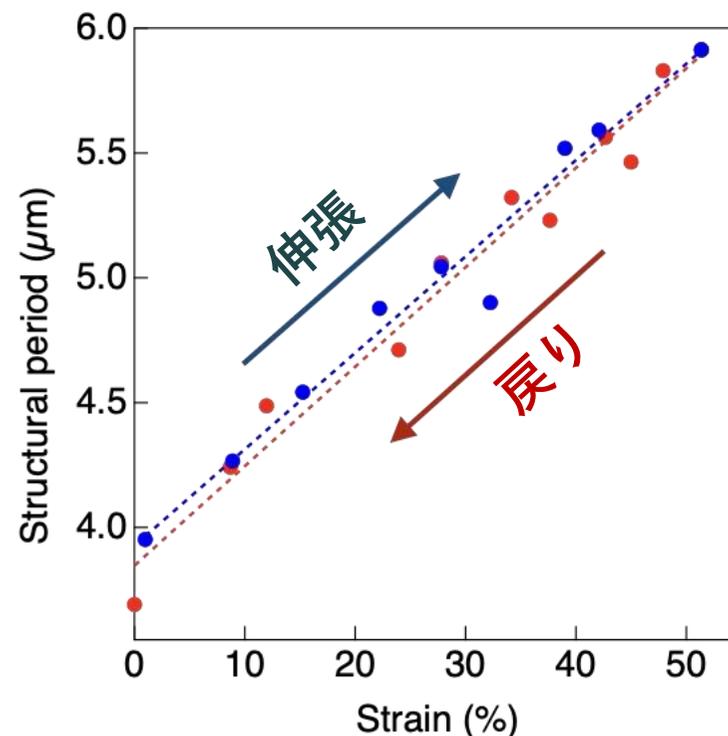
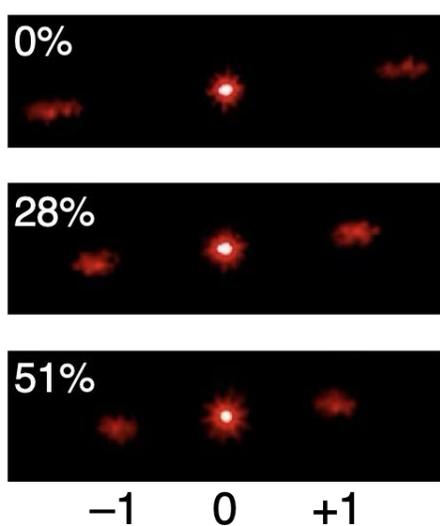
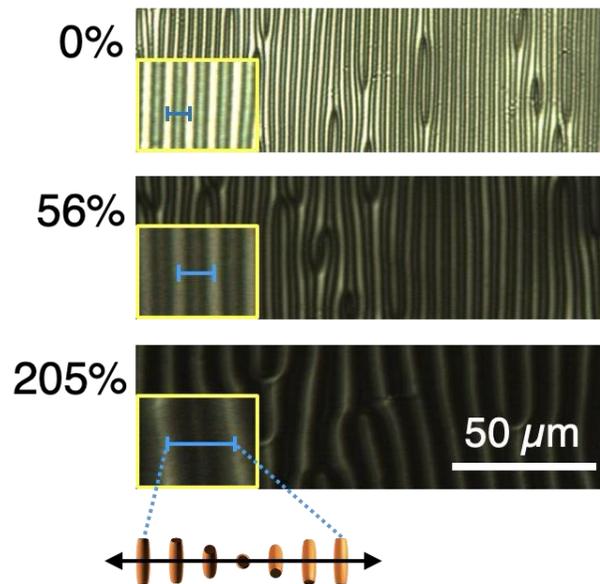
想定される用途：回折格子・センサー



ひずみ

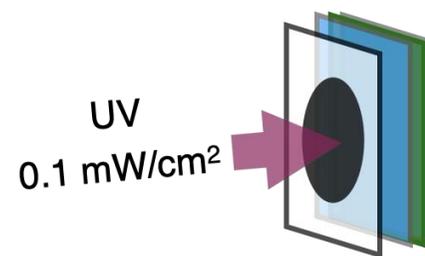
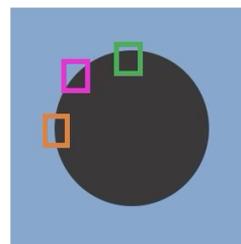
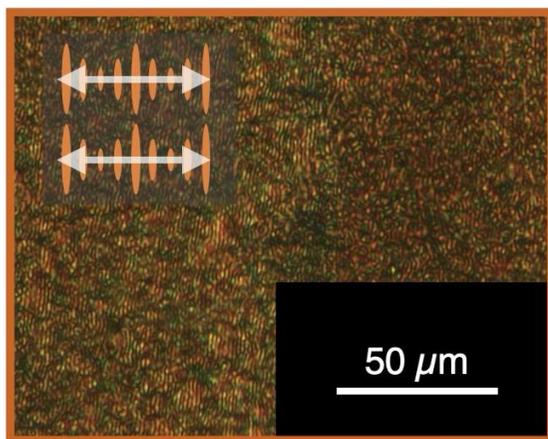
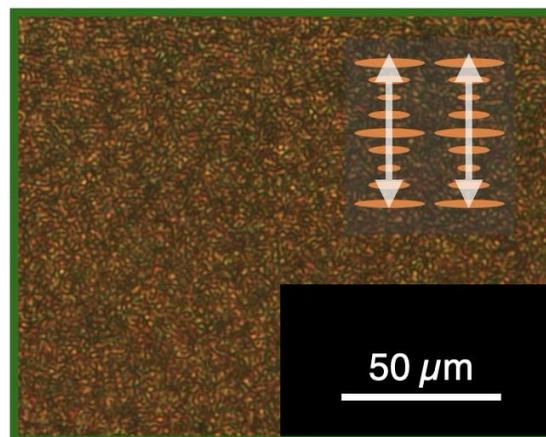
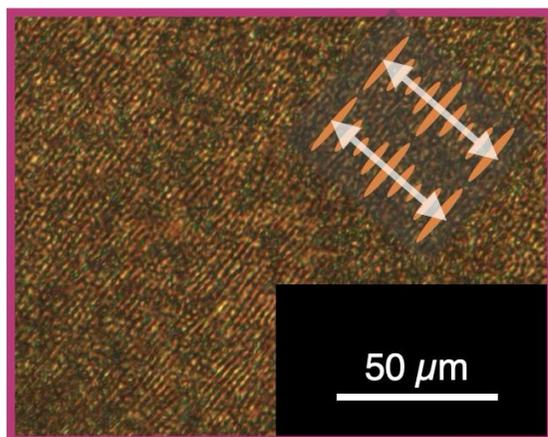
偏光顕微鏡

回折光

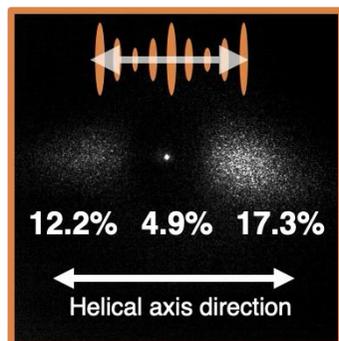
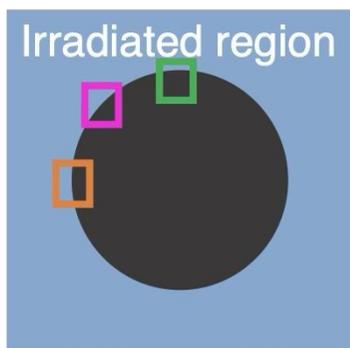
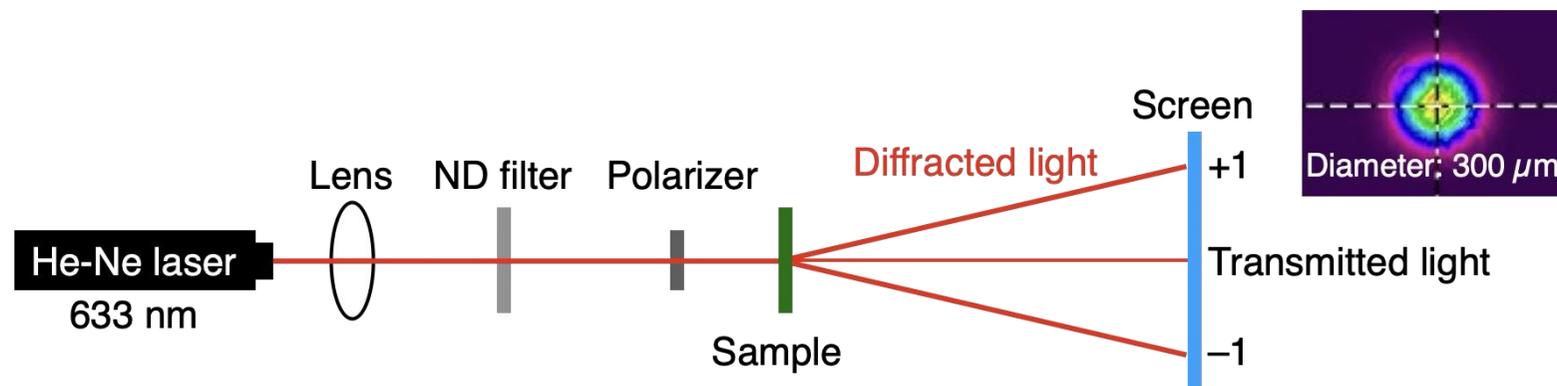


想定される用途：マイクロレンズ

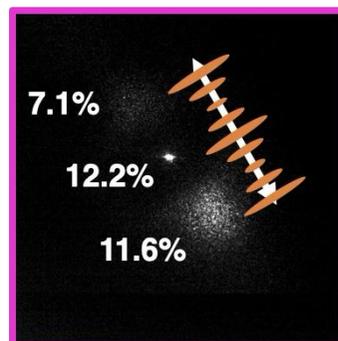
らせん軸の二次元配向制御



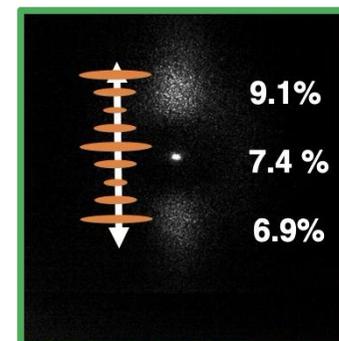
想定される用途：マイクロレンズ



Diffraction angle: 23.4°
Helical pitch: 3.19 μm



Diffraction angle: 21.9°
Helical pitch: 3.39 μm



Diffraction angle: 21.6°
Helical pitch: 3.43 μm

- らせん軸を同心円状に二次元配向制御することでマイクロフレネルレンズとして機能
- 面内にパターンニングすることでマイクロレンズアレイを形成可能

実用化に向けた課題

- 大面積フィルムでの実証
- 配向欠陥のない高信頼性フィルムの作製
- 光学機能の検証

企業への期待

- 配向処理がなされた大面積の基板を用いて，クリーンな環境で傾斜光重合を行うことで，大面積化と信頼性の高いフィルム作製は達成できると考える
- フィルム作製技術をもつ企業との共同研究を希望
- 本技術から得られる材料の用途開発，実装に関する共同研究を希望

企業への貢献, PRポイント

- 本技術はメカニズムもほぼわかっている信頼性の高い技術である
- 材料に対する制限のない、汎用的な技術である
- 円偏光に対する選択性もあるため、偏光変換デバイスなどへの展開も期待できる
- らせん軸配向制御により、光学物性のみでなく、特異な力学特性なども期待できる

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 液晶素子及び液晶素子の製造方法
- 出願番号 : 特願2021-540771
- 出願人 : 学校法人立命館
- 発明者 : 堤治、久野恭平ほか

産学連携の経歴

- 2019年–2021年 JST A-STEPに採択
- 2022年–2025年 JST A-STEP（育成型）に採択
- 現在， 2社と共同研究実施

お問い合わせ先

立命館大学

研究部 BKCリサーチオフィス

T E L 077-561-2802

e-mail liaisonb@st.ritsumei.ac.jp