

光波の電場を利用した液晶分子の配向制御と評価

1220028 内田 涼太 (光制御・ネットワーク研究室)
(指導教員 小林 弘和 准教授)

1. 研究背景・目的

液晶は、電場を印加することで分子の配向を制御できるため様々な光デバイスに応用されてきたが、近年、光波を用いた液晶分子の配向制御法が注目されている。棒状の液晶分子は互いに同一方向を向こうとする性質があり、光波による電場を印加すると液晶分子の分極により回転が生じて配向の制御が可能となる。光波の強度や進行方向、偏光方向を変えることによって液晶の配向制御が可能となることから空間的な配向制御の高機能化が期待されている。

本研究では、ある閾値を超えると光強度によって液晶分子の配向に変化が起こる光フレデリクス転移現象と広がり角を持った光ビームによる液晶配向の観察を行なった。

2. 液晶の回転

液晶がセルのガラス面に対して垂直に配向している状態のとき、液晶分子の回転を図1に示す。図1(a)に示すように、ビーム径が一定の光波を液晶セルに対し垂直に入射した場合、電場 \vec{E} はビームの進行方向 \vec{k} に対し垂直にかかるため液晶分子の短軸方向に分極が生じず配向はほとんど変化しない。しかし、図1(b)のようにビームを角度 θ で斜めに入射した場合、液晶分子の長軸方向に対し平行な電場成分 ($\vec{E} \sin \theta$) では分極が誘起され、垂直な電場成分 ($\vec{E} \cos \theta$) で分極した液晶分子は回転する。このとき回転トルク Γ は、 $E^2 \sin \theta \cos \theta$ で表される [1]。但し、液晶分子は熱で揺らいでいるため、ある閾値以上の光強度になると垂直入射の場合でも配向が変化する (光フレデリクス転移)。

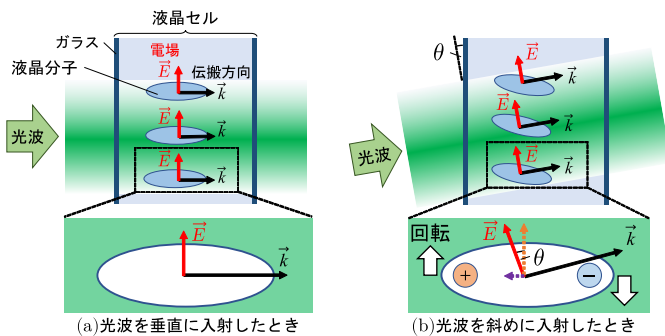
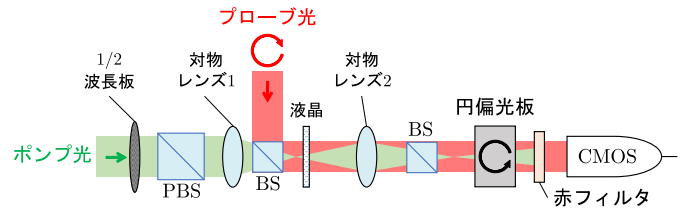


図1 液晶の回転

3. 実験構成

本研究では図2に示す実験系を用いて光波による液晶配向の変化を観察する実験を行なった。まず、液晶配向を制御するポンプ光を対物レンズ1で液晶に集光して照射する。また配向の観測に用いる右回り円偏光のプロープ光はBSを介して液晶に入射する。ポンプ光の光パワーが閾値よりも小さい場合、液晶配向は変化せず、プロープ光も偏光を変えずに液晶を通過するので、左回りの円偏光板でプロープ光はカットされCMOSカメラには何も映らない。しかしポンプ光の強度が閾値を超えると、光フレデリクス転移が起きて液晶分子が回転し始め、液晶の複屈折によりプロープ光は右回りと左回りの偏光成分を持つ楕円偏光となり、左回りの偏光成分のみが配向の変化としてCMOSカメラに写る。

次にポンプ光の集光点より後方に液晶を配置すると、ポンプ光が広がり角を持って液晶に入射するため光フレデリクス転移の閾値以下で特異な配向変化が観測できる。



PBS (Polarizing Beam Splitter): 偏光ビームスプリッタ
BS (Beam Splitter): ビームスプリッタ

図2 実験構成

4. 結果

図2の実験系を用いて、液晶セルの位置を動かし、対物レンズ1の焦点位置でのプロープ光の強度分布を図3(a)に示す。光パワーが閾値を超える前までは液晶の配向変化は同心円状に広がるが、パワーが閾値以上になると円環状の縞模様となって広がる光フレデリクス転移が確認された。実験値は34.8mWであった。閾値の理論値40.9mWに対して差が出た原因として液晶に対してポンプ光を斜めに入射していたことが考えられる。次に、対物レンズ1の焦点位置から後方100μm地点でのプロープ光の強度分布を図3(b)に示す。ポンプ光パワーが124mWまでは左右に光強度のほとんど等しい2つの明点が現れるが、パワーをさらに上げ135mWを超えると左の明点では光強度が高くなり配向の変化が大きいことがわかった。一方、右の明点の光強度は徐々に弱まり143mWを超えると広がり角の影響で配向に変化がほとんど見られないことがわかった。

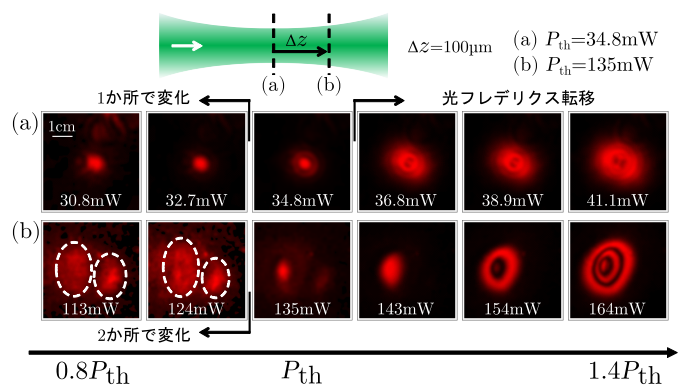


図3 実験結果

5. まとめ

従来と異なる広がり角を持った光ビームによる配向制御の実用化を検討した。フレデリクス転移および光波の広がり角における液晶配向の変化を観察する実験結果から、光波による配向制御の実用性が期待できる。

参考文献

[1] M. E. Ketara, H. Kobayashi, and E. Brasselet, Nat. Photon. 15, 121-124 (2021).