

強誘電性ネマティック液晶の基板界面における分極状態に関する研究

電気電子情報通信工学専攻 量子情報エレクトロニクスコース
有機エレクトロニクス領域 尾崎研究室 上藤 大和

1. 緒言

液晶とは液相と固相間に存在し、液相の流動性と固相の異方性を兼ね備える相状態である。

一般的に、強誘電性は対称性の低い特殊な結晶構造においてのみ発現し、流動性を有する液相や気相では発現しないと考えられてきた。しかし、2017年に液晶状態かつ対称性の高い分子配列の相状態において強誘電性が発現する**強誘電性ネマティック液晶** (図1) が報告され、基礎的にも応用的にも高い注目を集めている^[1,2]。本来、一般的な液晶は常誘電性のため、電界による分子配列の変化は誘電率異方性にに基づいている。一方、強誘電性ネマティック液晶はその特性として、数 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ の自発分極密度や10000以上の比誘電率異方性を有しているため、自発分極と電界の相互作用に基づくトルクにより分子配列が変化する。そのため、従来の液晶デバイスに比べて3,4桁速い応答や低電圧駆動が期待でき、それらを活かした超低消費電力デバイスや、液晶性と強誘電性を兼ね備えたフレキシブルセンサなど、種々の応用が期待される。

流動体の液晶をデバイス応用する際には何らかの容器に封入する必要があり、一般的に2枚のガラス基板間に封入される。この際の液晶-ガラス基板の界面における液晶の配向状態は、セル全体の液晶の配向状態を決定し、素子の光学特性や電気特性に多大な影響を与える。そのため、デバイス応用には、図2に示すような基板への配向処理を行い、バルク内の分子配向・自発分極の配列を意図的に制御した分極ドメイン構造を設計することが必須である。しかし、本液晶材料は配向基板上での分子配向が一般的な液晶材料と全く異なっており、分極状態および配向処理効果などにおいて未解明な要素が数多く存在している^[3]。

先行研究において^[4,5]、ラビングしたポリイミド膜上では分子長軸方向に存在する分極のプラス側が界面で方向を揃えて固定されるという性質が明らかとなったが、その配向の直接的要因は未だ未解明である。

そのため、本研究では基板界面での分極分布解明および普遍的な配向メカニズムの解明を研究目標とし、界面でのパラメータである**プレチルト** (液晶分子の立ち上がり) および**配向膜の極性**に着目し、それらが本液晶材料の界面での分極状態に及ぼす効果について調査した。

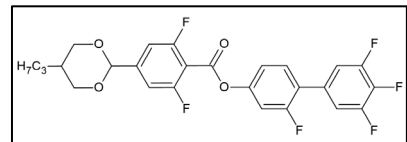


図1：強誘電性ネマティック液晶(DIO)

2. 基板界面の分極状態に及ぼすプレチルトの効果

本研究で用いた一般的な配向処理方法とプレチルトについて図2に示す。それぞれ配向処理を施した2枚のガラス基板を数 μm の間隔を空けて貼り合わせ、そのセル中に液晶を封入し、偏光顕微鏡を用いて配向状態を観察する。ここで基板界面の液晶分子の立ち上がりを**プレチルト**という。光配向方法においても、非偏光を斜めから照射することでプレチルトを付与することが可能であり、本研究では、図2に示した2種類の配向方法で、それぞれプレチルトを付与したセルと付与しないセルを作製し、これらのセルに光学解析および電界応答観察を行うことで配向状態および分極状態を調査し、基板界面の分極状態に及ぼすプレチルトの効果を評価した。

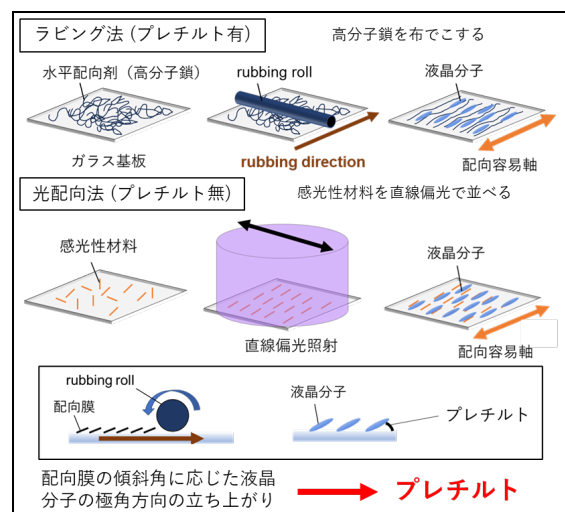


図2：本研究で用いた配向処理方法とプレチルト

結果のまとめを図3に示す。それぞれ実験を行うことで、プレチルトがある場合には、基板界面において分極方向が単一方向に固定され、プレチルトがない場合には基板界面において分極方向が単一方向に固定されないこと、すなわちプレチルトの有無によって界面での分極方向が単一方向に固定されるか否かが定まることを明らかにした。これは、プレチルトの存在により基板界面での極角方向に対する対称性が破れ、

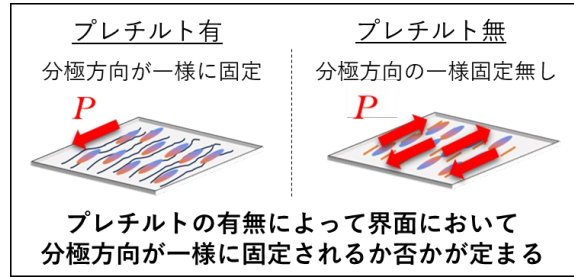


図3：基板界面の分極状態に及ぼすプレチルトの効果

界面での分極方向の向きによって系全体のエネルギーに差が生じることが一つの要因であると考えられる。

また、ラビング処理時には静電気など電氣的な影響も同時に付与されることが知られているが、この電氣的効果は界面の分極状態にほとんど影響を及ぼさないことも明らかにした。

3. 基板界面の分極状態に及ぼす配向膜の極性の効果

先行研究では、分極方向のプラス側が界面で方向を揃えて固定されることを明らかにしたが^[4]、ここでは分極方向のマイナス側も界面で方向を揃えて固定される場合もあるのではないかと考え、極性の異なる配向剤を用いることでその効果を調査した。プレチルトが存在する場合、界面において分極方向は単一方向に揃って固定される。そのため、本研究では図4に示すアルキル系、フッ素系の垂直配向剤であるシランカップリング剤を使用し、光学解析および電界応答の観察を行った。その結果のまとめを図4に示す。配向膜がアルキル系である場合には分極のプラス側が、配向膜がフッ素系である場合には分極のマイナス側が界面で方向を揃えて固定されること、すなわち、配向膜の極性によって界面で方向を揃えて固定される分極方向が変化することを明らかにした。これは、図1に示す強誘電性ネマティック液晶の液晶分子とそれぞれの配向膜との親和性が一つの要因であると考えられる。

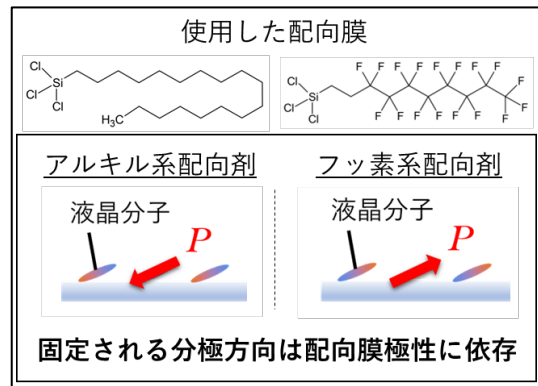


図4：基板界面の分極状態に及ぼす配向膜の極性の効果

また、プレチルトの効果は配向膜の極性に依存せず、プレチルトの有無のみで、界面において分極が方向を揃えて固定されることを明らかにした。さらに、以上の結果の応用として、上下基板で極性の異なる垂直配向剤を成膜し、バルク配向が界面の配向規制力を強く感じるセル厚が薄いセルを作製することで、外場を印加しない強誘電性ネマティック液晶の垂直方向への一様配向を世界で初めて実証した。

4. 結言

強誘電性ネマティック液晶のデバイス応用においてバルク中の分極制御は重要であり、特に基板界面での配向処理は必須である。本研究において、基板界面の分極状態に及ぼすプレチルトおよび配向膜の極性の効果を考慮した普遍的な配向メカニズムを明らかにし、外場を印加しない強誘電性ネマティック液晶の垂直方向への一様配向を実証した。今後、より様々な効果を考慮することで、強誘電性ネマティック液晶特有の性質に基づく新たな配向手法の確立・バルク中の分極制御を可能にするものであると考えられる。これは今後の強誘電性ネマティック液晶の応用に向けた基礎を築くことにつながると考えられる。

参考文献

- [1] H. Nishikawa *et al.*, *Adv. Mater.*, **29**, 1702354 (2017).
- [2] R. J. Mandle *et al.*, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **19**, 11429 (2017).
- [3] F. Caimi *et al.*, *Soft Matter*, **17**, 8130 (2021).
- [4] H. Kamifuji *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **16**, 071003 (2023).
- [5] J.-S. Yu *et al.*, *Soft Matter*, **19**, 2446 (2023).