

液晶界面配向転移ダイナミクスの全反射エリプソメトリー測定

田 所 利 康

Reorientation Dynamics of Liquid Crystals at the Substrate Surface Studied by Total-Reflection Ellipsometry

Toshiyasu TADOKORO

Our developed time-resolved total-reflection ellipsometry (TRE) is capable for detecting the selective dynamic response of the liquid crystal (LC) molecules at the substrate surface, where the anchoring system strongly governs the LC reorientation dynamics. In this paper, we report the practical application of time-resolved TRE to the study of the reorientation dynamics of surface-stabilized ferroelectric liquid crystals near the alignment layer surface. The observed dependence of the ellipsometric parameter Ψ on the alignment layer material is discussed in terms of the effects of the surface pre-tilt angle and the surface anchoring strength.

Key words: total-reflection ellipsometry, dynamics, surface-stabilized ferroelectric liquid crystal, anchoring effect, pre-tilt angle

液晶ディスプレイの内部では、長さ数 nm の棒状液晶分子がガラス基板の狭間で基板表面との相互作用（アンカリング）を受けながら目まぐるしく配向転移している。筆者らは、「アンカリングに支配された界面液晶の電場応答ダイナミクスを直接観測したい」という欲求から、界面配向の選択的な観測法を開発し解析に応用してきた¹⁻⁸⁾。本稿では、表面安定化強誘電性液晶 (surface-stabilized ferroelectric liquid crystal: SSFLC)^{9,10)} を例に、全反射エリプソメトリーを用いた液晶電場応答ダイナミクス解析を紹介し、その有用性を示す。

1. 時間分解全反射エリプソメトリー

エリプソメトリーは、高い感度と定量性をあわせもつ光計測法である^{11,12)}。本研究では、界面液晶とセル全体の液晶（以下バルク液晶）の電場応答ダイナミクスを、それぞれ全反射エリプソメトリーと透過エリプソメトリーを用い時間分解測定し、両者の比較解析を行った。

図 1 に、全反射エリプソメトリーの光学配置を示す。全反射エリプソメトリーは、全反射界面で誘起されたエバネセント光を利用して、界面近傍の配向情報を高感度に抽出する測定法である²⁾。高屈折率ガラス (FD60, HOYA, $n_{632.8\text{nm}}=1.80$) 製の液晶セルと台形プリズムを屈折率マッ

チング液で接合し、波長：632.8 nm、入射角：75° で測定した。本条件下では、透明電極-配向膜界面で全反射が起こり、液晶層への実効的な侵入長は約 230 nm となる。測定には、時間分解能 20 μs の偏光変調エリプソメーターを用いた。

2. SSFLC の分極反転

図 2 に、SSFLC の分極反転モデルと、分極反転に伴う偏光解析パラメーター Δ , Ψ の応答を示す。SSFLC は、自発分極が逆向きの 2 つの安定状態 A, B をもつ。FLC 分子は、印加電場の方向に応じて A, B いずれかの安定点に揃い、電場の反転によってコーンの円周に沿った経路を通り安定点間を分極反転する。この三次元的な転移運動と Δ , Ψ の応答波形を比較すると、分極反転時の転移面外へのトランジェントな運動が Δ に対応し、転移面内の運動が Ψ に対応していることがわかる。つまり、時間分解エリプソメトリーによって、三次元的な分極反転ダイナミクスの定量解析が実現できるのである。

3. 配向膜と分極反転ダイナミクス

SSFLC の配向状態はアンカリング効果によって安定化されており、配向膜の物性に強く影響されることが知られている^{13,14)}。ここでは、異なる配向膜をもつ SSFLC セル

有限会社テクノ・シナジー (〒193-0832 八王子市散田町 2-46-16) E-mail: tado@fa2.so-net.ne.jp
株式会社フォトニクラティス (〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉あおばインキュベーションスクエア)

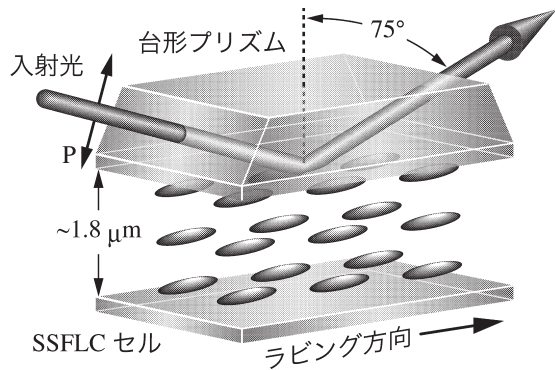


図1 全反射エリプソメトリーの光学配置とSSFLCセル。

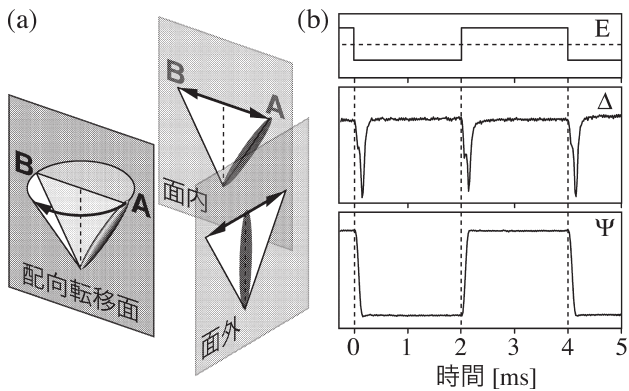


図2 SSFLCの分極反転 (a) と Δ , Ψ の応答波形 (b)。

(ポリイミドアミド系配向膜 40 nm：以下 PAI セル，ポリイミド系配向膜 40 nm：以下 PI セル) の分極反転ダイナミクスを Ψ 応答に焦点を絞って比較し，プレティルト角とアンカリング強度という界面配向に関する2つのパラメータを介して現象の解釈を行う。配向膜以外の仕様は両セルとも，液晶：ナフタレン環系混合 FLC (富士通研究所)¹⁵⁾，層構造：ブックシェルフ，セル厚：1.8 μm ，ティルト角：13°である。

図3に，PIセルにおけるバルク液晶および界面液晶の矩形電場応答ダイナミクスを示す。界面液晶の Ψ 応答波形はバルク液晶のそれと基本的に似ているが，変化量は10分の1以下である。図中白矢印で示した応答遅延は，強いアンカリングによって引き起こされる界面現象である。すなわち，アンカリングによって強く束縛されている界面液晶の中には，電場からのトルクだけでは分極反転のエネルギー障壁を越えられないが，分極反転中のバルク液晶に引張られることで転移を開始するものが存在し，遅延をもって応答するのである¹⁴⁾。

図4に，三角電場 (250 Hz) 印加時の両セルのヒステリシスを比較する。PAIセルの界面液晶のヒステリシスでは，飽和領域に傾きがみられる。これは，配向膜の化学的

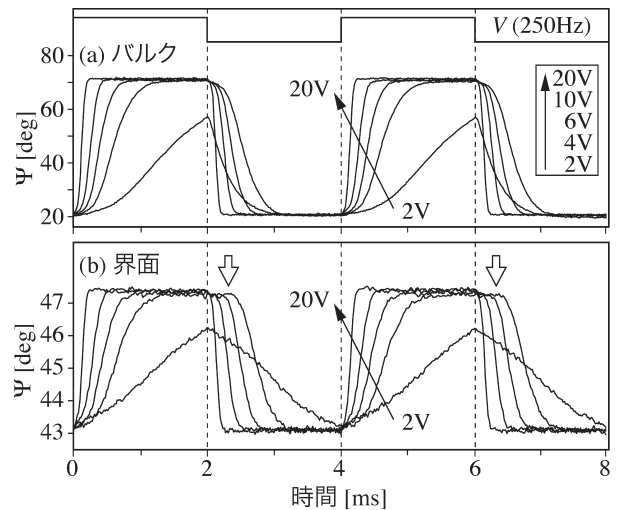


図3 バルク液晶 (a) と界面液晶 (b) の矩形電場応答ダイナミクス。

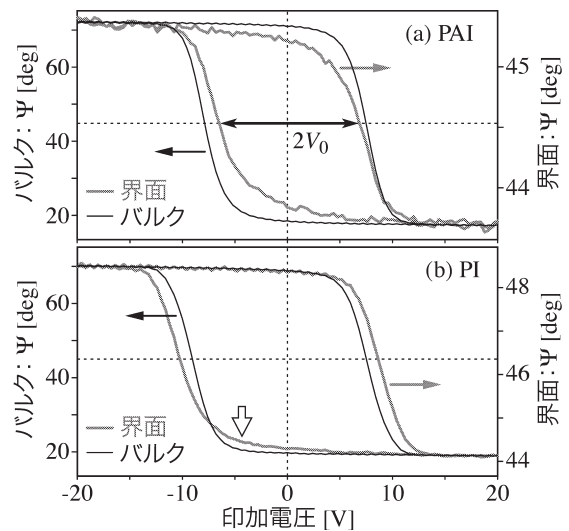


図4 バルク液晶と界面液晶のヒステリシス特性。

性質や表面ラフネスなどの要因から，PAIセルの界面で高プレティルト角になっているためと考えられる¹⁶⁾。図5に示すように，低プレティルト角では安定点がコーンの両端に位置しているが，高プレティルト角では押し上げられたコーン上の位置にある。高電圧印加時には強い電場トルクによって FLC 分子はコーン両端の安定点まで押し広げられているが，印加電圧の減少に伴って電場からのトルクが徐々に減ると，界面 FLC 分子は高プレティルト角の安定点に向かって移動する。この安定点の移動による Ψ 値の減少が，ヒステリシスの傾きとして観測されるのである。高プレティルト角による影響は界面から離れるに従い緩和され，バルク液晶ではコーン両端にある本来の安定点間を分極反転するためヒステリシスに傾きは生じない。一方，PIセルでは界面液晶とバルク液晶がほぼ同じヒステリシ

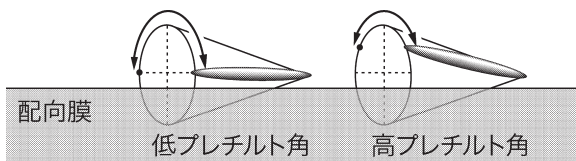


図5 プレチルト角と分極反転.

ス形状を示していることから、界面のプレチルト角も低く、セル内のティルト角はほぼ一定であると考えられる。なお、図4の白矢印で示したPIセルの界面にのみみられる非対称な応答は、FLC分子と基板の間に働く極性相互作用によるもので、配向膜の化学的性質を反映している。図3(b)の応答遅延が電場極性に対して非対称であることも、この極性相互作用が原因している。

ヒステリシスの幅 ($2V_0$) は、分極反転のしやすさを判断する指標となる (図4)。PAIセルでは、界面液晶 ($V_0 = 6.68 \text{ V}$) のほうがバルク液晶 ($V_0 = 7.68 \text{ V}$) より分極反転しやすいことがわかる。これは、PAIセルの界面液晶が高プレチルト角をもつために、分極反転時に越えるべきエネルギー障壁が低くなっていることに起因する。一方、PIセルでは、逆に界面液晶 ($V_0 = 9.44 \text{ V}$) のほうがバルク液晶 ($V_0 = 8.28 \text{ V}$) より分極反転しにくい。これは、PIセルのアンカリング強度が強く、界面液晶が強く束縛されているため、分極反転により大きな電場トルクが要求されていることを示している。

誌面の都合で要点のみの紹介となったが、時間分解全反射エリプソメトリー測定から多くの界面配向情報が得られることを、多少でもご理解いただければ幸いである。

文 献

- 1) T. Tadokoro, T. Fukazawa and H. Toriumi: Jpn. J. Appl. Phys., **36** (1997) L1207-L1210.
- 2) S. Okutani, M. Kimura, H. Toriumi, K. Akao, T. Tadokoro and T. Akahane: Jpn. J. Appl. Phys., **40** (2001) 244-249.
- 3) T. Tadokoro, K. Akao, T. Yoshihara, S. Okutani, M. Kimura, T. Akahane and H. Toriumi: Jpn. J. Appl. Phys., **40** (2001) L453-L455.
- 4) T. Tadokoro, K. Akao, S. Okutani, M. Kimura, T. Akahane and H. Toriumi: Thin Solid Films, **393** (2001) 53-58.
- 5) T. Tadokoro, T. Saiki and H. Toriumi: Jpn. J. Appl. Phys., **41** (2002) L152-L154.
- 6) T. Tadokoro, T. Saiki and H. Toriumi: Jpn. J. Appl. Phys., **42** (2003) L57-L59.
- 7) T. Tadokoro, K. Akao, H. Toriumi, S. Okutani, M. Kimura and T. Akahane: Jpn. J. Appl. Phys., **42** (2003) 4552-4563.
- 8) 田所利康, 木村宗弘, 赤羽正志, 鳥海弥和: 応用物理, **73** (2004) 759-763.
- 9) N. A. Clark and S. T. Lagerwall: Appl. Phys. Lett., **36** (1980) L899-L901.
- 10) 福田敦夫, 竹添秀男: 強誘電性液晶の構造と物性 (コロナ社, 1990).
- 11) R. M. A. Azzam and N. M. Bashara: *Ellipsometry and Polarized Light* (North Holland Press, Amsterdam, 1977, Second edition, 1987).
- 12) 藤原裕之: 分光エリプソメトリー (丸善, 2003).
- 13) M. Kimura, M. Nishikawa, T. Akahane and S. Kobayashi: Jpn. J. Appl. Phys., **33** (1994) L949-L952.
- 14) T. Akahane, K. Itoh and N. Nihei: Jpn. J. Appl. Phys., **32** (1993) 5041-5051.
- 15) A. Mochizuki, K. Motoyoshi and M. Nakatsuka: Ferroelectrics, **122** (1991) 37-51.
- 16) H. Furue, Y. Iimura, Y. Miyamoto, H. Endoh, H. Fukuro and S. Kobayashi: Jpn. J. Appl. Phys., **37** (1998) 3417-3421.

(2004年12月13日受理)