

# ナノプローブによる液晶分子の直接配向

梅田 倫弘・武田 裕也・西山 達

## Direct Alignment of Liquid Crystal Molecule by Nano-Probe

Norihiro UMEDA, Yuhya TAKEDA and Itaru NISHIYAMA

An orientation control for liquid crystal molecule is one of the important factors to apply the liquid crystal (LC) to optical devices. Conventional orientation control method is generally carried out through an alignment film. The alignment film is practically produced by roller rubbing method. Since this method has some defects, such as dust discharging and possibility of uneven orientation, a nano-probe rubbing by an atomic force microscope (AFM) is prospected to be able to provide advanced orientation method for the LC. However, there are some issues, for example, a ware of nano-probe and impossibility of overwriting an alignment pattern. We have succeeded a direct control of liquid crystal molecular orientation by using a nano-probe rubbing of an AFM. The molecular orientation was evaluated by the observation with a birefringence scanning near-field optical microscope.

**Key words:** liquid crystal, re-alignment, nano-rubbing, nano-probe, atomic force microscope, near-field optical microscope, birefringence

近年、パーソナルコンピューターや薄型テレビにみられるように、液晶表示デバイスの民生部門での展開には急激なものがある。前述の解説にもあるように、液晶分子を配向させて電界を印加することによって、その配向状態を制御することが、液晶デバイスの要諦である。したがって、電界がないときに液晶分子を所望の方向に配列させる技術の開発が重要となる。これまでに報告されている配向技術には、大きく分けてラビング法と光配向法がある。さらに、ラビング法には、ローラーラビング法、原子間力顕微鏡のナノプローブ(探針)によるナノラビング法<sup>1)</sup>、ダイヤモンドやサファイア針を擦りつけるマイクロラビング法<sup>2)</sup>が提案されている。ローラーラビング法は、ベルベット布をローラーに巻きつけて擦ることによって大面積における配向制御が高速に低コストで可能であるため、液晶ディスプレイなどの民生品の製造段階において多用されている。しかし、発塵や静電気による TFT の破壊などの問題がある。これに対して、ローラーラビングの欠点を克服する方法として、偏光紫外光などをポリイミド配向膜に照射する光配向法<sup>3)</sup>が研究されている。しかしながら、液晶分子配向を

規制する力(アンカリング力)がローラーラビング法に比べて弱いのが欠点である。

一方、大面積には向かないものの、微小面積における制御性のよさ、発塵のない方法として、原子間力顕微鏡(AFM: atomic force microscope) ナノラビング法やマイクロラビング法が提案されている。特に、前者は AFM 探針によってポリイミド配向膜に深さ 10 nm 以下の溝を形成し、その溝に沿って液晶分子を配向させる。これによって、双安定状態メモリーの提案がなされている<sup>4)</sup>。しかし、この方法も、AFM 探針の摩擦や、配向パターンの書き換えができないことなどの問題点がある。

そこで、筆者らは、配向膜に溝が形成されない程度の押しつけ力で AFM 探針を液晶薄膜内において擦ることで、液晶が安定に配向できることを見いだした<sup>5)</sup>。

### 1. AFM ナノラビング直接配向法

以下のようにして、AFM 探針による液晶分子の直接配向実験を行った。まず、ポリイミド(CBDA/BAPP)薄膜が成膜されたガラス基板上に液晶(K-18(6CB), Merck社)を滴下して、スピンコーターによって液晶を薄膜化さ

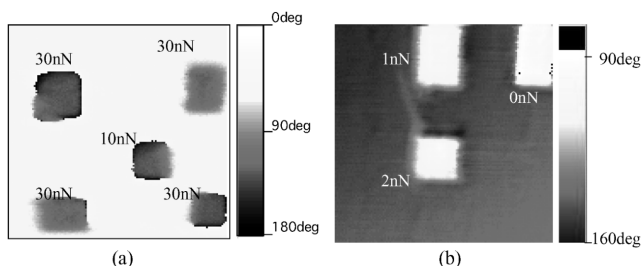


図1 AFM ナノプローブの押しつけ力に対する複屈折主軸方位分布.

せる。このガラス基板を、AFM (SPA-300, SII) によって接触モードで走査させる。このとき、探針の押しつけ力、走査速度および走査密度をラビングパラメーターとして、液晶分子の配向状態にどのように影響するか実験を行った。

前述の解説でもあるように、液晶分子の配向状態を評価するために複屈折測定がしばしば行われる。しかしながら、AFM ナノラビングのような  $1\ \mu\text{m}$  以下の領域での複屈折分布を観測するには、従来の複屈折顕微鏡では横分解能が不足する。そこで、筆者らは、近接場光学顕微鏡に複屈折測定法を導入した複屈折コントラスト画像が得られる近接場顕微鏡を開発した<sup>6)</sup>。この顕微鏡は、先鋭化された光ファイバープローブから出射された左右円偏光を照明光源として使う照明モードを用いており、試料を透過した光は偏光光学系を通過して光電子増倍管で検出される。光検出とともに試料をラスタ走査させることで、試料の複屈折の位相差と主軸方位分布が得られる。なお、プローブと試料間距離は、シアフォースといわれるプローブ先端と試料の間に働く減衰力を検出して、約  $10\ \text{nm}$  に制御されている。顕微鏡の横分解能はプローブの開口径で決まり、今回用いたプローブは溶融延伸法により製作したため、おおよそ  $100\sim 200\ \text{nm}$  である。この顕微鏡を用いて今回製作した AFM ナノラビングによる液晶配向パターンを定量的に評価した。

## 2. 実験結果

図1は、探針の試料への押しつけ力を変えてラビングしたときの複屈折主軸方位の画像である。下地のポリイミド基板のローラーラビング方向は水平  $0\ \text{deg}$  に対して、AFM ラビングの方向はそれに直交な垂直方向である。図1 (a) の  $30\ \text{nN}$  や  $10\ \text{nN}$  では、再現性よく複屈折方位が下地に比べて  $90\ \text{deg}$  だけ回転していることがわかる。また、図1 (b) から、 $0\ \text{nN}$  の押しつけ力でも十分液晶分子方位が回転していることがわかる。ただ、負の押しつけ力、すなわち探針先端がポリイミド表面から離れている場合には、複屈折の変化がないことを確認しており、探針とポリイミド

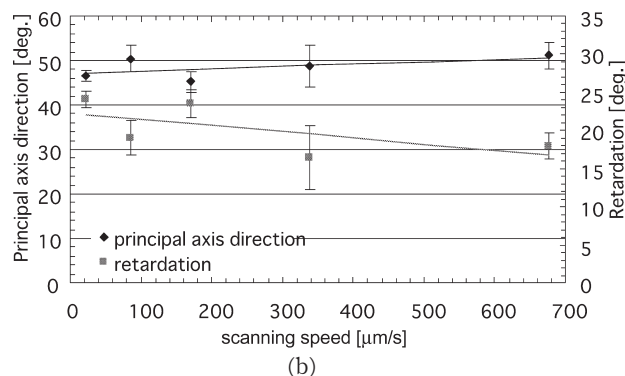
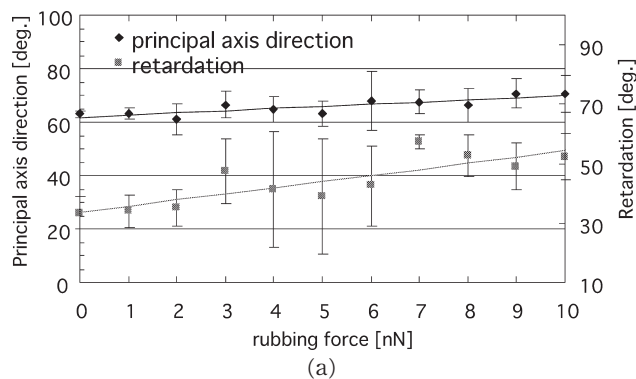


図2 AFM プローブの (a) 押しつけ力および (b) 走査速度に対する複屈折位相差と主軸方位の変化。

の接触が液晶分子軸方位を回転させるのに重要な役割を果たしていることを示唆している。

図2 (a) は、押しつけ力に対する複屈折変化、同図 (b) は探針のラビング速度を変えたときの複屈折の変化を表している。(a) から、押しつけ力の増大に伴い、複屈折位相差もやや増加傾向にあることがわかる。これは、押しつけ力の増大に伴ってポリイミド基板の変形量が増加したか、あるいは液晶分子が基板に押しつけられ、プレティルト角が減少した可能性がある。一方、(b) の走査速度を増加させた場合には、複屈折位相差が減少している。これは (a) とは逆に、ポリイミド基板の変形量の減少もしくは探針と液晶分子の接触時間が減少して、プレティルト角が増加した可能性がある。

AFM ナノラビングを互いに直交する方向に逐次行うことで、配向パターンを消去できることを明らかにした。その観測結果を図3に示す。まず、 $20\ \mu\text{m}$  四方をポリイミド基板のローラーラビング方向に対して直角方向に AFM ナノラビングした後、図の四角で示す右上と左下  $10\ \mu\text{m}$  四方を再びそれと直角方向、すなわちローラーラビング方向と平行に AFM ナノラビングした。この観測結果から、2回目のラビング部が消去されて、1回目だけのラビング部が観測されていることがわかる。

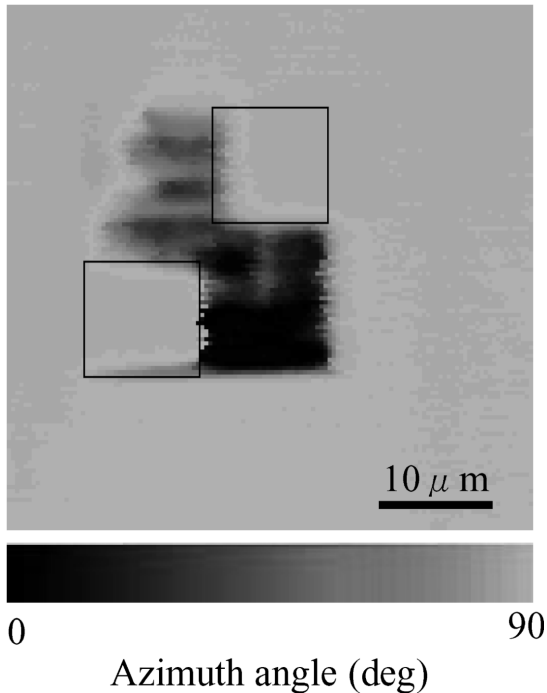


図3 AFM ナノプローブによる再ラビング（四角部）の複屈折主軸方位分布。

このほか、AFM ナノラビングの時間的な保持特性を調べた結果、21 時間経過しても同じ複屈折分布を観測できていること、また格子状パターンを AFM によってラビングすることで、マイクロメートルオーダーのピッチからなる複屈折格子を書き込むことができることも明らかにしている。

原子間力顕微鏡のナノプローブを用いて液晶薄膜を直接ラビングすることで、液晶分子を配向制御できることを、

複屈折コントラスト近接場顕微鏡観測によって示した。これまでに報告された類似の手法に比べて、ナノプローブの摩耗がほとんどないこと、サブマイクロメートルサイズの領域での配向パターンを制御できること、そして一度ラビングした領域に異なるパターンを書き込むことで、最初の配向を消去できることが特徴である。今後、AFM 観測に用いられるラスタ走査による単純なパターンだけでなく、より複雑な配向パターンを書き込むことで、新たな液晶光デバイスの開発を進める予定である。

## 文 献

- 1) J. Kim, M. Yoneya, J. Yamamoto and H. Yokoyama: "Nano-rubbing of a liquid crystal alignment layer by an atomic force microscope: A detailed characterization," *Nanotechnology*, **13** (2002) 133-137.
- 2) M. Honma, K. Yamamoto and T. Nose: "Periodic reverse-twist nematic domains obtained by microrubbing patterns," *J. Appl. Phys.*, **96** (2004) 5415-5419.
- 3) W. M. Gibbons, P. J. Shannon, S.-T. Sun and B. J. Swetlin: "Surface-mediated alignment of nematic liquid crystals with polarized laser light," *Nature*, **351** (1991) 49.
- 4) J. Kim, M. Yoneya and H. Yokoyama: "High-resolution bistable nematic liquid crystal device realized on orientational surface pattern," *Appl. Phys. Lett.*, **83** (2003) 3602-3604.
- 5) Y. Takeda, H. Nagasaki, A. Takayanagi, Y. Otani, Y. Iimura and N. Umeda: "Direct orientation of liquid crystal molecules using an atomic force microscope nano-rubbing," *Technical Digest of ICO'04* (2004) pp. 231-232.
- 6) S. Ohkubo and N. Umeda: "Near-field scanning optical microscope based on fast birefringence measurement," *Mater. Sens.*, **13** (2001) 433-443.

(2005 年 1 月 11 日受理)