

AFM을 이용한 수직배향막 폴리머 표면위의 액정배향에 관한 연구

Study on the LC Alignment on Vertical Alignment Polymer Surface using the AFM

김완철*, 송선애**, 전일철**, 이종문*, 이승희*
(W. C. Kim*, S. Song**, I. C. Jeon**, J. M. Rhee*, and S. H. Lee*)

Abstract

We have studied the alignment of liquid crystals (LCs) on homeotropic polymeric surface that is scanned using an atomic force microscope (AFM) tip by optical polarizing microscopy and computer simulation. The scanned areas on one substrate are $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$, and $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ and this substrate is assembled to another substrate coated with homeotropic polymer. The fabricated micro-LC cell using two substrates does not show any hysteresis and disclination lines inside the nano-rubbing areas, while changing voltage up and down. This indicates that the pretilt angle exists in the areas, thereby forming a hybrid LC configuration. From the experimental and computer simulation results, we can understand that the AFM rubbing clearly changes surface status of homeotropic alignment layer and causes the pretilt angle to an initial scanning direction.

Key Words : Homeotropic polymer, AFM, Nano-rubbing, Pretilt angle, Hybrid LC configuration

1. 서론

액정 표시소자에 사용되는 배향기술에는 여러 가지가 있다[1]. 가장 많이 사용되는 액정 배향법으로 러빙법이 있다. 러빙법은 배향의 안정성과 프리틸트각의 조절이 용이하여 초창기부터 많이 사용되고 있다[2]. 그러나 러빙법은 정전기 및 먼지 발생 등을 유발하여 수율이 저하되는 단점이 있다. 이러한 러빙법의 한계를 극복하기 위하여 또 다른 배향법으로는 광배향법이 있다[3,4]. 그러나 광배향법 또한 액정배향이 불안정한 단점을 가지고 있다. 또한 종래의 액정배향법들은 미세영역에서 배향이 매우 어렵다.

최근 미세 영역의 액정 배향법으로서 AFM (Atomic Force Microscope)을 이용한 nano-rubbing법이 새롭게 등장하였다. 1994년 Rüetschi 등은 최초로 AFM을 이용한 nano-rubbing을 수행하였다. Planer cell을 제작하여 nano-rubbing법이 미세영역에서 액정배향이 가능함을 밝혔고 이를 응용하여 nano-size waveguide를 제작하였다[5]. 1996년 Rüetschi 등은 AFM을 사용하여 고분자 액정 표면위에 240 nm 정도의 주기를 갖는 안정한 격자를 형성하는 것이 가능함을 보였다[6]. 1997년 Pidduck 등은 AFM nano-rubbing이 스캔 방향을 조절할 수 있고, 반복된 스캔을 해도 좋은 액정배향 상태를 형성 시킬 수 있는 확실한 공정임을 증명하였다[7]. 2000년 Wen 등은 AFM nano-rubbing법을 사용하여 수평배향막에 표면개질을 하여 hybrid cell을 제작하였고, 이는 고화질의 액정디스플레이에 응용될 수 있음을 증명하였다[8]. 2001년 Rastegar 등은 AFM으로 개질된 폴리머표면에 액정이 강하게 정박되어 안정된 배향이 형성됨을 주장하였다. 또한 AFM을 사용하여

* : 전북대학교 신소재공학부

(전주시 덕진동 1가 664-14,

Fax: 063-270-2341

Corresponding Author : lsh1@moak.chonbuk.ac.kr)

** : 전북대학교 화학과

2003년 1월 30일 접수, 2003년 3월 7일 1차 심사완료,

2003년 3월 13일 최종 심사완료

수평배향막위에 러빙을 수행 하였을 때 프리틸트 각이 형성되지 않는다고 주장하였다[9]. 2001년 Kim등은 nano-rubbing법을 사용하여 bistable 액정디스플레이를 제작 하였다. 인접도메인의 스캔방향을 90°회전시켜 체크무늬 형태의 배향방향을 갖는 분자배열을 형성시켜 쌍안정 디바이스를 제작하였다[10]. 2002년 Kim등은 마찰력이 nano-rubbing 방향보다 rubbing 반대 방향이 더 큼을 밝혔고, load force를 크게 하여 폴리머 표면에 골이 깊게 파일수록 액정이 폴리머 표면에서 강한 정박력을 가짐을 밝혔다[11].

위와 같이 AFM은 나노미터 영역에서 고분자 표면과 같은 부도체 표면상태의 분석 및 개질을 시킬 수 있는 장치로 이러한 AFM을 사용한 미세영역의 액정배향기술은 초고정세, 고속·고효율 디바이스, optical grating, nano-size light waveguide, data storage, bistable nematic LC device같은 장치에 응용이 가능하다. 본 논문에서는 AFM (Atomic Force Microscope) 탐침을 이용하여 미세영역의 액정 배향을 제어하는 방법에 대하여 연구를 하였고 또한 미세 액정 소자를 제작해 액정 동력학의 안정성을 연구 하였다[12,13]. 특히 AFM을 이용하여 수직배향막위에 미세영역을 주사하여 액정배향을 바꿀 수 있었고 또한 AFM 주사영역에서 액정의 배향이 수직에서 수평으로 변하는 것을 알 수가 있었다.

2. 실험

AFM 탐침을 이용한 표면 개질을 위하여 ITO (indium-tin-oxide) 가 코팅된 유리기판위에 polyimide 수직배향막 (RN-1517)을 스핀 코팅하였다. 배향막표면 개질을 위하여 PSI사의 Autoprove LS를 사용하였고 캔틸레버는 diamond coated ultralever™ d-type을 사용하였다. 캔틸레버의 용수철상수는 17 N/m을 사용하였고, AFM Load Force는 271.1 nN, Line density는 12.8-51.2 lines/ μm , 주사주파수는 1 Hz로 하였다.

상판의 표면 개질 크기는 각각 $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 이었다. 표면 개질된 상판과 개질되지 않은 하판을 합착하여 셀을 제작하였다. 이때 셀갭 유지를 위하여 구형의 스페이서가 산포되었다. 합착된 셀에 유전율이방성이 양인 액정 ($\Delta\epsilon = 7.4$, $\Delta n = 0.09$ at 589 nm)을 주입하였다. 편광현미경을 사용하여 액정의 배향상태와 빛

의 투과정도를 관찰하였고 전압을 인가하여 셀의 전기광학 특성 및 동력학 안정도를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 상하판 편광판 투과축이 90°로 교차된 상태에서 AFM주사방향과 편광판의 투과축과 45°틀어지게 부착한 후 편광현미경을 이용하여 관찰한 결과이다. 그림 1은 500배로 확대한 결과인데 패턴 처리된 영역에서 빛샘이 뚜렷하게 보이는 것을 알 수 있고 그 외 영역에서는 액정이 수직배열을 하고 있어 교차된 편광판 사이에서 빛이 통과하지 못하여 어둡은상태를 보여주는 것을 알 수 있다.

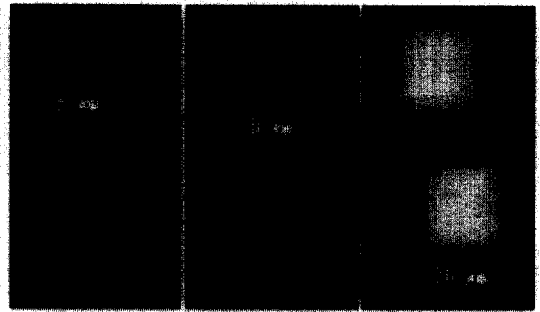


그림 1. 주사영역이 (a) $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$, (b) $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$, (c) $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 인 셀의 편광현미경 이미지.

Fig. 1. Image of an LC cell obtained by means of a polarizing microscope. Patterns have size of (a) $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$, (b) $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$, and (c) $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$.

이러한 결과는 수직배향상태가 AFM 탐침의 주사에 따라 주사영역의 액정 배향 상태가 변했다는 것을 의미하고 주사영역이 큰 경우는 작은 영역에 비해 빛샘 정도가 커지는 것을 볼 수가 있다. 또 하나 주목할 것은 주사영역과 비 주사영역의 경계가 뚜렷함을 볼 수 있다. 이는 액정의 배향상태가 경계영역에서 잘 정의됨을 의미한다.

주사영역의 액정 배향상태가 단일 도메인을 갖고 있는지를 확인하기 위하여 셀에 전압을 인가하면서 관찰하였다. 그림 2에서 보여주는 것처럼 $5 \mu\text{m}$ LC square의 액정 영역이 전압을 인가하였을 때 전압에 따라 초기 밝은 상태에서 어둡은상태로 변하는 것을 관찰할 수 있었다.

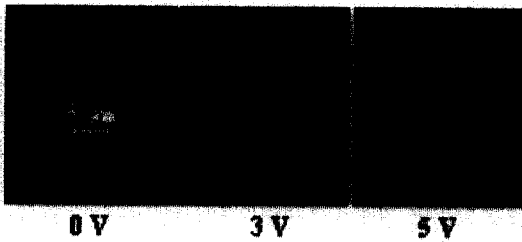


그림 2. 주사영역이 $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ 인 셀의 전압 인가에 따른 편광 현미경 이미지.

Fig. 2. Voltage-dependent LC texture for a $5 \mu\text{m}$ LC square.

AFM은 양방향스캔을 하기 때문에 종래에는 프리틸트각이 존재하지 않는 것으로 생각되었다[9]. 또한 스캔영역에서 액정이 좌우방향에서 일어나므로 인하여 액정 동역학이 불안할 것으로 예상되었다.

이러한 현상을 확인하기 위해 본 논문에서는 $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 크기의 액정셀을 제작하여 편광현미경 관찰시 형태가 주사영역 내와는 약간 다른 것을 알 수 있다. 편광현미경을 사용하여 1000배율로 관찰한 결과 그림 3에서 보듯이 초기 white상태에서 서서히 어두워졌고 주사 영역 안쪽이나 경계영역에서 disclination 선들은 관찰되지 않았으며 전압인가에 따라 안정한 동력학 특성을 보였으며 계조 표시(gray scale)가 가능함을 알 수 있다.

위의 관찰 결과로부터 빛이 셀 수 있는 경우는 크게 두 가지로 생각할 수 있다. 주사영역에서 액정의 배열이 수직상태가 아닌 random 배열이거나 아니면 임의의 프리틸트각을 가진 수평배열을 하고 있다고 볼 수 있다.

그러나 전자의 경우 전압 인가 시 액정 분자의 충돌로 인한 disclination 선들을 보여주어야만 한다. 따라서 후자의 배열 상태를 가정하고 교차된 편광판 축을 45° 회전하여 주사방향과 투과축을 일치시켜 보았다.

그림 4에서 나타난바와 같이 주사영역이 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 일 경우 거의 완벽한 어둡상태를 보여주었고, $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 일 경우는 경계영역을 제외하고는 어둡 상태를 보여주었다. 이러한 결과에서 액정의 배향 상태가 수직에서 수직이 아닌 임의의 프리틸트각을 갖는 수평으로 배열하였다는 것을 의미한다. 즉 그림 5에 나타난바와 같이 주사영역에서 액정 배열이 하이브리드 상태를 갖는다고 볼 수 있다.

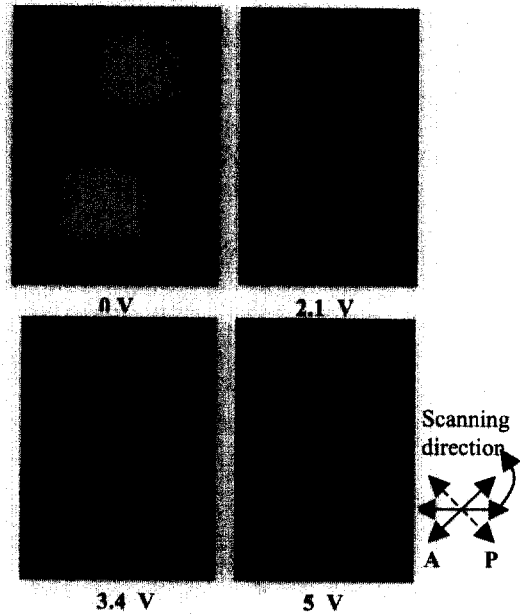


그림 3. 주사영역이 $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 인 셀의 전압 인가에 따른 상변화.

Fig. 3. Voltage-dependent LC texture for a $20 \mu\text{m}$ LC square.

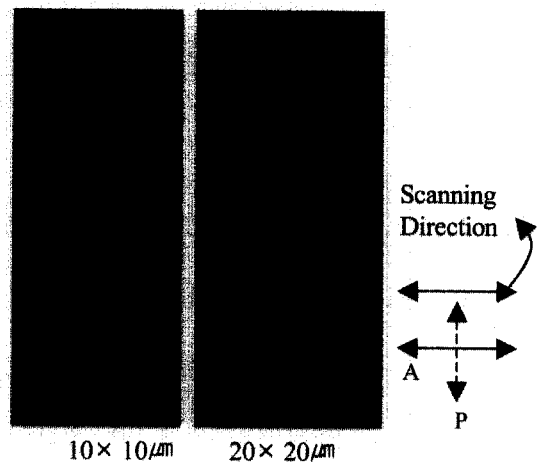


그림 4. AFM 주사방향과 편광판 투과축이 일치할 시 셀의 편광현미경 이미지.

Fig. 4. Liquid crystal textures observed under a polarizing microscope where the scanning direction and the polarizer axis are coincident each other.

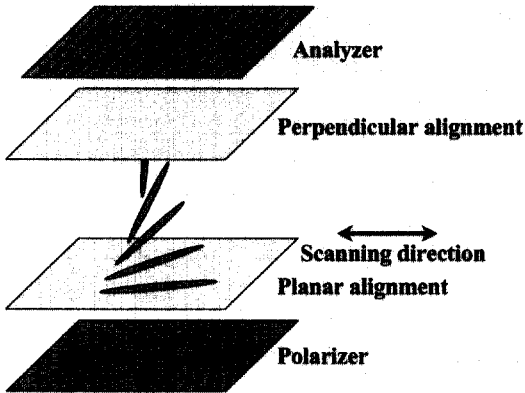


그림 5. 표면 개질된 영역에서의 액정 배열 정도를 보여주는 도식도.

Fig. 5. A schematic view of showing LC alignment in the scanning direction.

그러나 주사영역이 큰 경우 경계에서 액정 배향 형태가 주사영역 내와는 약간 다른 것을 알 수 있다.

하이브리드 액정배향 상태에서 하판의 프리틸트 각이 나노러빙을 수행하였을 때 어느 방향으로 형성되는지를 알아보기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 하판에 프리틸트가 형성되었다면 하이브리드 상태에서 좌우 극각에 따라 투과율이 다를 것이다. 시뮬레이션을 통하여 하이브리드 액정배향 상태에서 좌우 극각이 변함에 따라 투과율변화를 알아보았다. 이때 시뮬레이션조건은 실험조건과 같게 유전율이방성이 양인 액정($\Delta\epsilon = 7.4$, $\Delta n = 0.09$ at 589 nm)을 사용하였고, 셀갭은 $5 \mu\text{m}$ 로 하였다. 상판의 프리틸트각은 90° 로 하고 하판의 프리틸트각은 $3^\circ\text{--}80^\circ$ 로 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 편광자와 검광자의 투과축이 90° 교차되게 배치하고 하판의 액정 방향자와 45° 틀어지게 배치하였다. 그림 6에서 보여주는 것과 같이 하이브리드 액정배향상태에서 좌우 극각에 따라 투과율이 변하는 것을 알 수 있다. 프리틸트가 형성된 반대방향의 투과율은 높은 반면 프리틸트가 형성된 방향에서는 투과율이 떨어지는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과를 토대로 nano-rubbing을 통하여 만든 셀의 극각에 따른 투과율변화를 측정하였다. 그림 7에서 보듯이 시뮬레이션결과와 마찬가지로 좌우 극각에 따른 투과율변화가 명확히 발생하였고 초기 스캔방향 쪽의 극각에서 투과율이 현저히 떨어지는 것으로 보아 초기 나노러빙방향으로 프리틸트가 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

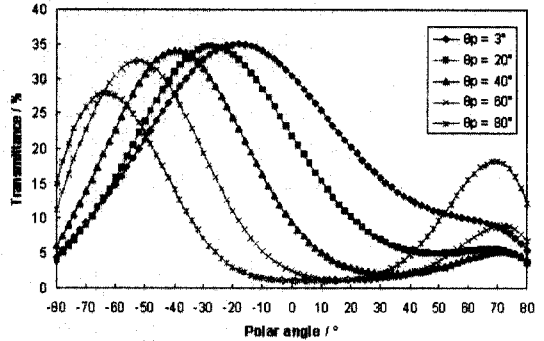


그림 6. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 하이브리드 액정셀에서의 극각에 따른 투과율변화. θ_p 는 하부 기판의 pretilt angle을 나타낸다.

Fig. 6. Simulated result of light transmittance as a function of polar angle in hybrid LC cell where θ_p is a pretilt angle of bottom substrate.



그림 7. 주사영역이 $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 인 셀의 좌, 우, 정면에서의 투과율변화.

Fig. 7. Polarization optical micrograph of a 20 LC square showing light transmittance at front, and left and right oblique directions.

4. 결론

본 연구를 통하여 AFM을 이용하여 액정배향의 제어가 가능함을 확인하였다. 특히 수직배향제가 AFM의 탐침의 표면개질로 인해 액정 배향이 수직에서 임의의 프리틸트각을 갖는 수평배열 상태로 변함을 알 수 있었고 특히 전압 인가시 액정 동력학이 안정하다는 것은 종래 연구결과와 달리 AFM 표면 개질이 프리틸트각을 갖는 것을 보여

주었다.

수직배향막위에 AFM을 이용한 nano-rubbing을 통해 하이브리드 액정셀을 제작하였고 액정동력학이 안정하고 제조표시가 가능함을 알 수 있었다. 또한 초기 nano-rubbing방향으로 프리틸트가 형성되는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 서대식, "액정 디스플레이 소자의 분자배향 기술", 전기전자재료학회지, Vol. 10, No. 1, p. 68, 1997.
- [2] J. M. Geary, J. W. Goodby, A. R. Kmetz, and J. S. Patel, "The mechanism of polymer alignment of liquid crystal materials", J. Appl. Phys., Vol. 62, p. 4100, 1987.
- [3] 서대식, 유문상, 황정연, 김형규, "광분 해반응을 이용한 액정배향 및 프리틸트각발생에 대한 어닐링효과", 전기전자재료학회논문지, Vol. 12, No 5, p. 468, 1999.
- [4] 서대식, 황율연, 이창훈, "광배향 기술을 이용한 액정배향의 기구 및 폴리이미드의 분자 구조가 프리틸트각에 미치는 영향", 전기전자재료학회논문지, Vol. 11, No. 6, p. 477, 1998.
- [5] M. Rüetschi, P. Grüter, J. Fünfschilling, and H.-J. Güntherodt, "Creation of liquid crystal waveguides with scanning force microscopy", Science, Vol. 265, p. 512, 1994.
- [6] M. Rüetschi, J. Fünfschilling, and H.-J. Güntherodt, "Creation of submicron orientational structures in thin liquid crystal polymer layers", J. Appl. Phys., Vol 80, No. 6, p. 3155, 1996.
- [7] A. J. Pidduck, S. D. Haslam, G. P. Bryan-Brown, R. Bannister, and I. D. Kitely, "Control of liquid crystal alignment by polyimide surface modification using atomic force microscopy", Appl. Phys. Lett., Vol. 71, No. 20, p. 2907, 1997.
- [8] B. Wen, M. P. Mahajan, and C. Rosenblatt, "Ultra high-resolution liquid crystal display with gray scale", Appl. Phys. Lett., Vol. 76, No. 10, p. 1240, 2000.
- [9] A. Rastegar, M. Skarabot, B. Blij, and Th. Rasing, "Mechanism of liquid crystal alignment on submicron patterned surfaces", J. Appl. Phys., Vol. 89, No. 2, p. 960, 2001.
- [10] J-H. Kim, M. Yoneya, J. Yamamoto, and H. Yokoyama, "Surface alignment bistability of nematic liquid crystals by orientationally frustrated surface patterns", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 20, p. 3055, 2001.
- [11] J-H 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, Vol. 13, p. 133, 2002.
- [12] W.-C. Kim, S. Song, I.-C. Jeon, J.-H. Kim, M.-H. Lee, and S.-H. Lee, "Nano-size liquid crystal waveguide using atomic force microscope", Proc. of the 5th KLCC'02, p. 115.
- [13] W. C. Kim, S. Song, I. C. Jeon, J-H. Kim, M-H. Lee, and S. H. Lee, "Dynamically controllable micro-LC cell associated with surface modification using the AFM", Proc. of the 9th IDW'02, p. 133.