

배향 구조에 의한 메모리 특성을 갖는 액정 디바이스

Liquid Crystal Devices of Multi-stability by Patterned Alignment

김종현

대전시 유성구 궁동 220 충남대학교 물리학과

jxk97@cnu.ac.kr

최근에 원자현미경 (atomic force microscope, AFM)을 사용하여 액정을 배향하는 나노러빙 (nano-rubbing) 기술이 연구되기 시작하였다⁽¹⁾. AFM의 접촉모드에서 팁과 측정되는 표면 사이에 작용하는 힘을 이용하여 그 면을 변형시켜 그 위에 액정이 배향되도록 하는 것이다. AFM의 특성상 매우 정밀하게 기반의 표면과 팁 사이의 힘과 위치를 제어 할 수 있기 때문에 매우 균일한 특성을 얻을 수 있다. 또한 즉 나노미터 혹은 마이크로미터 크기에서 배향을 조절할 수 있고, 또 팁의 움직임도 제어 가능하므로, 원하는 패턴이 있으면 자유롭게 그 패턴을 구현할 수 있다 (그림1).

AFM 나노러빙은 러빙과 매우 유사한 특징을 갖고 있다. 러빙에서 처럼 scratch가 만들어져 측정된다. 러빙 scratch가 크거나 모양에 있어 변화를 많이 갖는 반면, 나노러빙의 경우는 힘과 위치가 제어되는 조건이어서 scratch의 크기와 모양이 일정하게 만들어진다. 러빙의 경우에는 scratch가 매우 안정되어 적당한 외부 조건에 대해 명확한 변화를 찾을 수 없으나, 나노러빙에 의한 것은 약간의 열처리에 의해 scratch가 완화된다. 그러나 액정을 배향 시키는 능력은 적당한 열처리 조건이면 scratch의 존재 유무에 상관없이 보존된다. 간접적인 특성으로 본 배향력은 충분한 세기를 나타낸다. 그리하여 단순한 번 스캔한 선에 의해서도 액정이 배향되는 것을 관찰할 수 있다⁽²⁾.

우리는 나노러빙이 갖는 독특한 장점인 임의의 배향 패턴을 정밀하게 만들 수 있는 점을 이용하여 디바이스를 개발했다. 즉 배향 패턴이 회전 대칭을 갖도록 하여 액정이 메모리 특성, 즉 4-fold 회전 대칭을 만족하는 조건에 의해 쌍안정 (bistability)성, 6-fold 대칭을 만족하는 조건에 의해 삼안정 (tri-stability)성을 구현하였다^(3,4). 이 메모리 특성이 복잡한 공정을 통해서 만들어지지 않고 가장 기본적인 물리학적 법칙인 대칭성을 갖는 패턴을 통해서 만들어졌다는데 의의가 있다. 이것은 실용적인 면에서는 점점 쓰임새가 늘어나고 있는 휴대용 디스플레이에 적용하여 에너지 측면에서 현 디스플레이보다 월등한 제품을 제작할 수 있는 가능성을 제시한 것이다.

예로 쌍안정성을 보면, checkerboard로, 바로 이웃한 단위 영역이 서로 수직하게 배향 방향을 갖도록 배향막 표면을 2차원적으로 패턴을 만든다. 이때 각 단위 영역의 한 변은 수백 나노미터에서 마이크로미터의 길이이다. 이 패턴은 4-fold 회전 대칭성을 만족한다. 액정이 그 기반 위에 올려질 때 기반 표면에서의 액정은 기반에 만든 배향 패턴을 따라서 배향한다. 그러나 표면과 충분히 떨어진, 즉 단위 영역의 길이 정도의 안쪽 부분에서의 액정은 기반 면에서의 배향을 경계 조건으로 하여 찌그러짐에 의한 에너지를 최소화하기 위해 일정한 방향으로 늘어지게 된다. 이때 기반의 바둑판 구조의 대칭성에 의

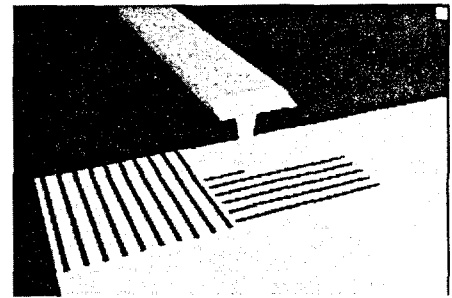


그림 1 원자현미경을 이용하여 배향 패턴을 만드는 모습의 도식도

해 액정이 정렬할 수 있는 방향은 대각선 방향의 둘이 된다. 각 방향은 서로 동등한 구조를 갖는 최소 에너지 상태로, 각기 안정한 상태를 유지한다. 외부장을 이용, 액정 전체의 방향을 서로 교대로 바꿀 수 있고, 바뀐 방향은 안정되게 유지된다. 전기장을 갖고 스위칭을 할 때, 문턱 전기장이 배향력에 비례하고 elastic constant와 유전율 이 방성의 제곱근에 반비례한다.

앞의 쌍안정성 디바이스를 가능하게 하는 요인은 패턴의 대칭성이다. 평형사변형 모양의 패턴이 배향의 단위 영역이고 3개의 각기 다른 평형사변형이 정육각형을 만드는 패턴의 경우, 6-fold 회전 대칭을 나타낸다. 이 대칭성 위의 액정은 3개의 방향으로 자유에너지가 최소화되는 안정한 방향을 가진다. 각각의 가능한 방향으로 전기장을 인가하여, 액정을 스위칭 시켜 세 방향으로 안정한 메모리 디바이스를 구현했다 (그림2).

그리고 쌍안정 디바이스의 내부 영역은 각각 개별적으로도 쌍안정성을 갖는다. 레이저에 의한 가열과 적절한 전기장을 동시에 인가하여, 패턴의 개별 내부 영역을 각각 독립적으로 제어하여, 그림3과 같이 픽셀 크기가 수백 나노미터 혹은 마이크로미터 크기를 갖는 구동 가능 메모리 디바이스를 구현하였다^[5].

원자현미경을 이용한 나노러빙 기술은 top-down 방식의 접근을 이용하여, 지금까지 다루어지지 못했던 영역인 나노미터 크기에서 배향막 표면을 가공하였다. 지금까지 수십 마이크로미터 이상의 크기인 거시적 영역에서 일정한 배향 특성을 갖는 막 위에서의 성질이 주로 연구되었지만 원자현미경을 사용함으로써 나노미터 영역까지 인위적으로 패턴을 만들므로 그 위에 늘어서는 액정이 이 패턴의 영역에 의해 영향을 받아 새로운 성질을 갖도록 한다. 이 접근 방법은 새로운 것으로 액정의 이해와 새로운 응용의 가능성이 넓게 열려있다.

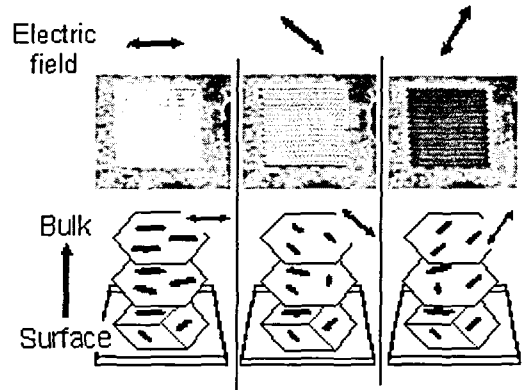


그림 2 삼안정을 나타내는 액정의 texture와 각 texture에 해당하는 액정의 방향. 전기장을 적당한 방향으로 인가하면, bulk의 액정은 전기장 방향으로 스위칭하고 그 방향으로 안정한 상태를 유지한다.

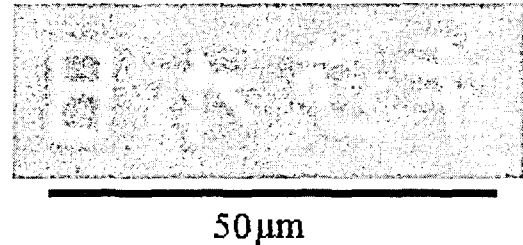


그림 3 $0.6 \times 0.6 \mu\text{m}^2$ 의 크기의 단위 영역을 갖는 checkerboard 패턴 위에서 액정의 방향을 제어하여 만든 이미지.

참고문헌

[1] A.J.Pidduck, S.D.Haslam, G.P. Bryan-Brown, R. Bannister, and I.D. Kitley, Appl. Phys. Lett. 71, 2907(1997).
 [2] J.H.Kim, M.Yoenya, J.Yamamoto and H.Yokoyama, Nanotechnology, 13, 133(2002).
 [3] J.H.Kim, M.Yoenya, J.Yamamoto, and H.Yokoyama, Appl. Phys. Lett.78, 3055(2001).
 [4] J-H.Kim, M.Yoenya, and H.Yokoyama, Nature 420, 159(2002).
 [5] J-H.Kim, M.Yoenya, and H.Yokoyama, Appl. Phys. Lett. 83, 3602(2003).