

탄소 나노 튜브가 분산된 수평전기장을 이용한 액정 셀의 액정 방향성과 전기 광학특성 연구

전상연, 백인수, 이승희
전북대학교

Orientation of Liquid Crystal and Electro-Optic Characteristic Effect of dispersed Carbon nanotubes in In Plane Switching Cell

Sang Youn Jeon, and In-Su Baik and Seung Hee Lee
Chonbuk Univ.

Abstract : To observe the orientation of carbon nanotubes (CNTs) dispersed in nematic liquid crystal (NLC), CNT-doped homogeneously-aligned NLC cells driven by in-plane field was fabricated. The CNTs were aligned with a LC director in the initial state, whereas the CNTs disturbed the LC director above critical ac field. We observed motional textures in the form of vertical stripes in the local area between electrodes, which were associated with a deformation of the LC director orientation. This suggests that CNTs start to vibrate three dimensionally with translational motion. The hysteresis studies of voltage-dependent transmittance under dc electric field show that the amount of residual dc is greatly reduced due to ion trapping by CNT

Key Words : 탄소 나노 튜브, In-Plane Switching, 잔류 DC

1. 서 론

탄소나노튜브(CNT)는 새로운 기능과 기술적인 중요성으로 인해 여러 분야에서 연구되고 있다. 일반적으로 CNT는 액정 방향자와 평행하게 배열되는 것으로 알려져 있는데, 최근 곱이 있는 표면위의 네마틱 액정을 이용해 CNT 필름의 배열을 컨트롤 하거나 다공성 막 위에서 외부 전기장을 이용해서 CNT를 정렬시키는 방법이 발표되었다.¹ 수직 전기장을 이용하는 네마틱 액정 셀의 전도도 측정은 CNT의 수평에서 수직으로의 배열이 전기적으로 컨트롤됨을 증명해준다.² 또한 비틀린 네마틱 액정(TN) 셀에 C₆₀이나 multiwalled CNT와 같은 카본 나노 솔리드를 소량 첨가함으로써 DC 전압이 인가되었을 때 셀의 전기광학 특성에 미치는 영향에 대해 발표되었다.³

최근 CNT가 네마틱 액정 매질에 분산될 수 있고, 액정의 방향 질서를 방해하지 않은 상태에서 수평 혹은 수직하게 액정 방향자와 평행하게 배열되는 것을 관찰하였다. 특정 세기의 수직전기장이 인가되면 CNT는 유전토크를 받아 진동하기 시작한다.⁴ 본 논문에서는 수평 배향된 네마틱 액정 셀에서 수평 전기장이 인가됨에 따라 CNT가 액정 방향자를 따라 회전하고, 특정 세기의 이상의 전기장이 인가되면 CNT가 전극 사이의 영역에서 진동을 시작하며 부분적으로 액정 배열을 방해하는 현상과 CNT에 의한 액정 셀의 전기광학특성에 미치는 영향에 관한 연구를 하였다.

2. 실험

Single-walled CNT(SWNT)가 5x10⁻⁴ wt%의 함량으로 액정에 분산되어 있고 실험에 사용된 액정의 Δε은 7.4이고 Δn은 589 nm의 파장에서 0.088이다. 알루미늄으로 이루어진 불투명 전극은 10μm의 폭을 가지고 셀의 하판에 엇갈리게 배열되어있으며 전극 사이의 폭은 30μm이고 두 전극은 각각 공통전극과 픽셀전극 역할을 한다.

전극의 구조로 인해 전압이 인가되면 전극 사이에서는 주로 수평 전기장이 형성된다. 셀 제작을 위해 전극이 패턴 된 유리기판에 800 Å의 두께로 수평 배향막을 스프인 코팅하였다. 그 다음 네마틱 액정을 원하는 방향으로 배열시키기 위하여 러빙을 실시하였다. 전극이 없는 상부 유리기판에도 같은 방법으로 코팅과 러빙을 실시하였다. 셀 갭은 9 μm 이고 이를 유지하기 위해, 10 μm 직경의 플라스틱 볼 스페이서를 사용하였다. 마지막으로 상온에서 모세관 현상을 이용해 액정을 주입하였다. 액정 방향자는 수평 전기장에 대해 80도의 각을 가지고 배열되어있다.

3. 결과 및 고찰

제작된 셀에 60Hz의 sin 파형을 가지는 전압을 인가하였고, 이때 전압에 의존하여 나타나는 텍스처를 관찰하였다. 그림 1은 셀에 인가되는 전압에 따른 현미경 사진이다. 이 셀의 투과율은 sin²(2ψ(V))sin²(πdΔn_{eff}(V)/λ)에 비례한다. ψ는 직교된 편광판의 축과 액정 방향자 사이의 각이고, d Δn_{eff}는 유효 위상지연 값이다. 그림. 1(a)는 0V 에서의 셀

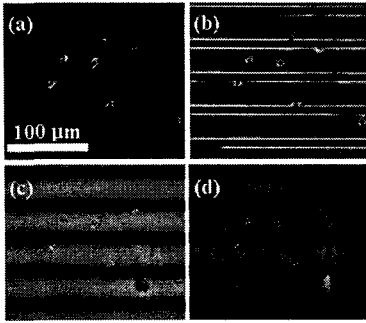


그림 1. CNT가 첨가된 셀에 각각 0V(a), 10V(b), 60V(c), 120V(d)의 전압이 인가되었을 때의 현미경 사진.

사진이다. 0V에서는 액정 방향자의 광축과 교차된 편광판 중 하나의 투과축이 일치하게 되고 셀은 어두운 상태를 띤다. 그러나 어둡 상태에서 스페이서 주변의 액정 방향자가 편광판 축과 어긋나게 배열하기 때문에 몇 개의 원형 빛샘이 관찰된다. 원형 빛샘은 스페이서 주위의 액정이 배향막의 방향으로 배열하지 않기 때문에 발생된다. 이런 원형 빛샘 이외의 부분에서의 어둡 상태를 보아 SWNT는 0V에서 액정의 배향에 영향을 주지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 이전에 발표되었던 바와 같이 SWNT의 장축이 액정 방향자와 평행하게 배열되어 있음을 시사한다.^{1,2,4} 그림 1 (b)는 10V에서의 셀 사진이다. 전압이 증가함에 따라 액정 방향자는 유전 토크의 영향을 받아 수평방향으로 회전하게 되고 이로 인해 투과가 발생하기 시작한다. 흥미로운 특징 중 하나는 순수 액정 셀과 SWNT가 첨가된 액정 셀 사이에 특별히 다른 점이 관찰되지 않는다는 것이다. 이것은 액정 다이렉터가 회전하는 동안 SWNT 역시 회전한다는 것을 말해준다. 그림 1(c)와 그림 1(d)는 각각 60V와 120V를 인가하였을 때의 편광 현미경 사진이다. 60V 이상 혹은 120V이상으로 전압을 인가하는 경우 액정은 좀 더 전극 방향에 수직인 방향으로 배열하고 SWNT의 진동에 의한 패턴이 관찰된다. 그림 1(c)와 1(d)에서 보여지는 바와 같이 고전압에서 수평 전기장과 평행한 방향으로 발생하는 패턴의 수가 증가함을 확연히 알 수 있다. 더군다나 수직 패턴들의 크기와 두께는 균일하지 않고 시간에 따라 변동한다. 이런 두께의 불균일은 SWNT의 0.2 μ m에서 1.5 μ m에 달하는 다양한 길이 분포에서 기인된 것으로 보인다.⁴ 이전의 연구에서는 수평 혹은 수직 방향으로 배열된 SWNT가 그것이 가지는 영구 쌍극자에 의해 특정 전압 이상에서 진동하고 있음을 발표하였다.⁴ 이와 같이 텍스처의 생성은 전극 사이에서 SWNT의 진동에 의해 발생하는 시간의 함수에 의존하는 액정 층의 ψ 와 $d\Delta n_{eff}$ 의 변화를 암시한다. 왜냐하면 SWNT의 쌍극자와 sin형태의 수평 필드($E_y = E_0 \sin(\omega t + j)$) 사이에 시간에 의존하는 토크가 발생하기 때문이다.

그림 2는 DC 전압에 따른 투과율 히스테리시스 곡선이다. 순수 액정 셀의 경우 V_{10}, V_{50}, V_{90} 에서의 히스테리시스

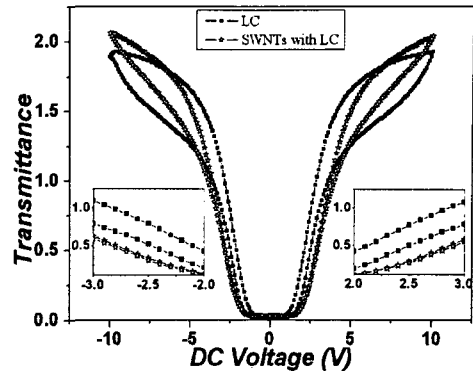


그림 2. 순수 액정과 CNT가 첨가된 셀의 인가전압에 따른 투과율 곡선.

의 폭은 양과 음의 사이클에서 대략 0.38V, 0.71V, 3.4V의 값을 가진다. 반면에 SWNT가 첨가된 셀의 경우 각각 0.04V, 0.3V, 1.6V의 값을 가진다.

4. 결론

우리는 수평전기장으로 구동되는 CNT가 첨가된 수평배향된 네마틱 액정셀에 대해 발표하였다. 액정 방향자가 수평 전기장에 의해 회전함에 따라 CNT역시 수평으로 회전한다. 특정 세기 이상의 전기장이 인가되면 CNT는 전극 사이의 제한된 영역에서 병진운동을 하며 진동하기 시작한다. 이 결과 CNT근처의 액정 배향에 3차원적인 변형이 일어나게 된다. 액정 방향자의 변형 정도는 CNT의 크기에 의존한다. 이것은 CNT의 크기 분포를 간접적으로 알게 해준다. 전압에 따른 전기 광학특성의 특정 역시 잔류 DC의 감소를 보여준다. 우리는 본 연구가 종래의 TFT-LCD의 잔류 DC 감소에 커다란 영향을 미칠 것으로 생각한다. 또한 CNT와 같은 이온 트랩핑 인자의 도입으로 액티브 영역의 잔류 DC가 줄어든 것이라고 생각한다.

감사의 글

본 연구는 한국 과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10014-0) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] M. D. Lynch and D. L. Patrick "Organizing Carbon Nanotubes with Liquid Crystals" Nano Lett. 2, 1197 (2002).
- [2] I. Dierking, G. Scalia, and P. Morales "Liquid crystal-carbon nanotube dispersion" J. Appl. Phys. 97, 044309 (2005).
- [3] W. Lee, C-Y Wang, and Y-C Shih "Effect of carbon nanosolids on the elector-optical properties of a twisted nematic liquid-crystal host" Appl. Phys. Lett. 85, 513 (2004).
- [4] S.Y.Jeon, I-S Baik, J.Y.Lee, K.H.An, G.Lee, S.H.Lee and Y.H.Lee "Control of carbon nanotube orientation in nematic liquid crystals" ECLC p65 (2005)