

러빙처리된 플렉시블 액정표시소자의 전기광학특성

Electro-optical Characteristics on the Rubbing-aligned Flexible Liquid Crystal Display

남기형¹, 황정연¹, 김종환¹, 서대식^{1,a}

(Ki-Hyung Nam¹, Jeoung-Yeon Hwang¹, Jong-Hwan Kim¹, and Dae-Shik Seo^{1,a})

Abstract

We have investigated the generation of pretilt angle for a nematic liquid crystal (NLC) alignment with rubbing alignment method on polyimide surfaces using plastic substrates. It was found that monodomain alignment of NLC is obtained with rubbing alignment method on polyimide surfaces using thin plastic substrates. The NLC pretilt angles on thin plastic substrates generated higher than that on glass substrate. Also, EO characteristics of the TN-LCD with a rubbed PI surface based on polymer substrate are almost the same as that of the TN-LCD with a rubbed PI surface based on glass. However, the transmittances of the TN-LCD with a rubbed PI surface based on polymer is less than that with a rubbed PI surface based on glass.

Key Words : Thin plastic substrate, Polyimide, Pretilt angle, Imidization ratio, Electro-optical, Characteristic

1. 서론

평판 디스플레이에서는 ITO (indium tin oxide)가 코팅된 유리기판이 투명전극으로 사용가능하다 [1-4]. 최근 들어 박형, 경량 및 유연한 디스플레이 (flexible display)를 구현하기 위해서는 유리 기판 대신에 고분자 기판 (polymer substrate)을 사용하는 연구가 많이 진행되고 있다 [5]. 고분자 필름을 사용하게 되면, 유리를 사용한 액정표시소자(LCD)에 비해 두께는 3분의1 (0.7 mm 두께의 유리 대비), 중량은 5분의 1이 된다. 즉 고분자 기판을 사용함으로써 유리기판에 비해 부피가 줄고 무게가 줄면서 휴대용 디스플레이, 유연성 (flexibility)이 커지면서 곡면 위의 디스플레이 (flexible display)로의 응용이 가능하다. 그러므로 경량, 박형을 최우선으

로 하는 휴대정보통신단말기분야 뿐만 아니라 PDA, 노트북, 모니터등에서 고분자 필름을 이용한 액정 표시소자의 개발이 필요하다. 액정을 실제 표시 장치로 사용하기 위해서는 액정분자의 균일 배향이 필수적이라 할 수 있으며, 현재 양산에 사용되고 있는 것은 폴리이미드(PI) 표면에 액정분자를 배향시키는 러빙법이다 [6-10]. 러빙법은 기판에 도포한 액정 배향막을 테이블 위에 놓고, 테이블을 이동시키면서, 러빙천을 감은 롤러(roller)를 회전시키면서 문지르는 방법이다.

액정 배향막의 소성온도와 이미드올은 액정배향에 밀접한 관계를 가지고 있다. 일반적으로 이미드화가 클수록 양호한 배향성을 나타낸다. 보통 LCD에 사용되는 PI는 보통 220 °C에서 열처리를 한다. 하지만, flexible LCD에 사용되는 고분자 필름의 낮은 내열성 때문에 저온 공정이 필요하다. 또한, 유연한 재질로 인해 소자 공정시 유리 기판을 사용할때와 달리 coating, rubbing 및 cell gap 유지 등의 공정등에서 많은 문제가 발생한다.

이러한 PI 코팅된 고분자 필름에 러빙시 폴리이드 표면에서의 프리틸트각 발생에 관한 연구는 미

1. 연세대학교 전기전자공학과
(서울시 서대문구 신촌동 134)
a. Corresponding Author : dsseo@yonsei.ac.kr
접수일자 : 2004. 4. 26
1차 심사 : 2004. 5. 10
심사완료 : 2004. 6. 3

미한 실정이다.

본 연구에서는 고분자 기판에 러빙된 폴리이미드 표면의 프리틸트각 발생과 전기광학특성에 관하여 검토하였다.

2. 실험

본 실험에서는 고분자 기판은 polycarbonate (PC) 이다. 또한 일본 Nissan Chemical Industries의 수평 폴리이미드를 사용하였다. 사용한 폴리이미드의 구조식을 그림 1에 나타내었다. 수평 폴리이미드는 ITO (indium-tin-oxide) 기판 위에 스펀 코팅법을 이용하여 코팅하였다. 고분자 기판은 120℃에서 1시간 동안 오븐에서 소성하여 폴리이미드막을 제작하였다. 또한 유리기판은 120~250℃까지 온도를 조절하여 1시간동안 오븐에서 소성하여 폴리이미드막을 제작하였다. 폴리이미드 표면은 러빙법을 이용하여 러빙처리 하였다. 러빙강도 (Rubbing strength :RS)는 아래와 같이 정의 한다 [6,7].

$$RS = NM \left(\frac{2\pi r m}{v} - 1 \right) \quad (1)$$

(N=러빙회수, M=섭유 기판과의 접촉거리, n=러빙롤러의 회전수, v=기판의 이동속도)

고분자 기판의 두께가 200 μm로 매우 얇으므로 러빙강도는 러빙롤러의 회전수를 변화시켰다. 실험에 사용한 러빙강도는 75 ms, 112 ms, 150 ms로 조절하였다. 프리틸트각 측정을 위하여 러빙처리된 폴리이미드 표면을 anti-parallel 구조의 샌드위치형으로 제작하였으며 두께는 약 60 μm 정도로 조절하였다. 액정은 유전율 이방성이 양(+)인 네마틱 액정 (Δε=-8.2)을 사용하였다. 또한, 전기광학 특성을 측정하기 위하여, 90° TN셀을 제작하였다. 셀갭은 5 μm 로 조절하였다. 프리틸트각은 결정회전법을 사용하여 실온에서 측정하였다. 또한, TN셀의 전기광학 특성을 측정하였다.

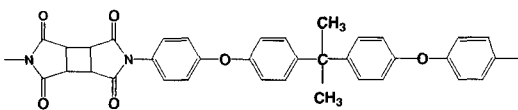


그림 1. 사용한 폴리머의 화학구조.

Fig. 1. Chemical structure of the polymer.

3. 결과 및 고찰

그림 2에 유리기판을 이용한 폴리이미드 표면에서의 소성온도와 이미드화율의 관계를 나타내었다. 그림에서와 같이, 폴리이미드의 소성온도가 120℃일 경우에 폴리이미드의 이미드화율은 거의 0%를 나타내었으며, 폴리이미드의 소성온도가 증가할수록 이미드화율은 증가하였다. 특히 소성온도가 250℃일때에 100%의 이미드화율을 나타내었다.

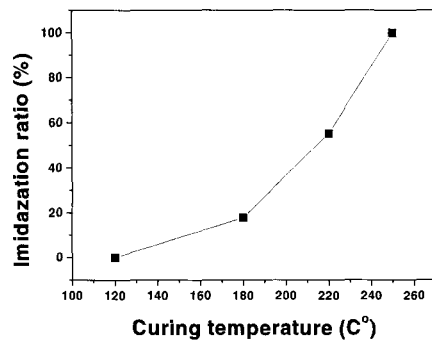


그림 2. 폴리이미드의 소성온도와 이미드화율의 관계.

Fig. 2. Relationship between curing temperature and imidization ratio of polyimides.

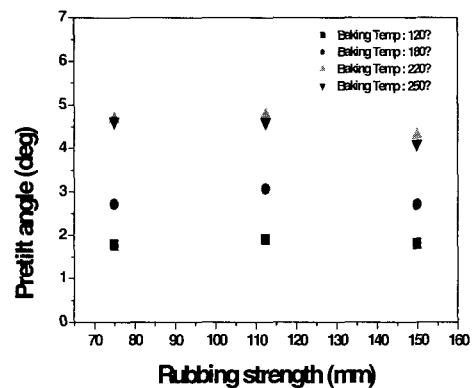


그림 3. 유리기판을 이용하여 폴리이미드 표면에서의 소성 온도에 따른 네마틱 액정의 프리틸트각의 발생.

Fig. 3. Generation of pretilt angle in NLC on the polyimide surface as a function of baking temperature using glass substrate.

그림 3에 유리기판을 이용한 경우, 120 °C ~ 250 °C에서 소성한 폴리이미드 표면에서의 러빙에 의한 네마틱 액정의 프리틸트각을 나타내었다. 그림 3에서와 같이, 소성온도가 증가할수록 러빙에 의한 네마틱 액정의 프리틸트각은 증가하는 경향을 나타내었으며, 소성온도가 220~250 °C에서는 프리틸트각이 약 5도를 나타내었다. 이것은 낮은 소성온도에서는 폴리이미드의 이미드화율이 낮기 때문에 낮은 틸트를 나타내고, 소성온도가 증가함에 따라 폴리이미드의 이미드화율도 증가하기 때문에 액정의 프리틸트각이 증가함을 알 수 있었다. 결국, 폴리이미드의 분자구조의 형성이 액정의 프리틸트각 발생에 영향을 주는 것으로 생각할 수 있다.

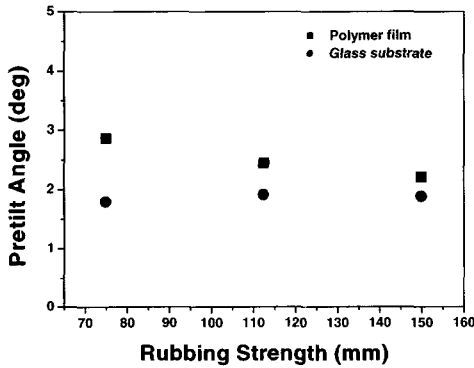


그림 4. 두가지 종류의 기판을 이용한 폴리이미드 표면에서의 러빙강도에 따른 네마틱액정의 프리틸트각.

Fig. 4. NLC pretilt angles on homogenous polyimide surface with different substrates as function of rubbing strength.

그림 4는 고분자 및 유리기판을 이용한 경우, 폴리이미드 표면에서의 러빙에 의한 네마틱 액정의 프리틸트각을 나타낸다. 그림 4에서와 같이 유리기판을 이용한 경우 폴리이미드 표면에서의 러빙에 의한 네마틱 액정의 프리틸트각을 러빙강도에 관계없이 약 1.7°를 나타내었다. 그러나 고분자 기판을 이용한 경우에는 러빙강도가 74 mm일 때 약 3°를 나타내었으며, 러빙강도가 증가할수록 프리틸트각이 감소하는 경향을 나타내었다. 즉 고분자 기판을 이용한 경우가 유리기판을 이용한 경우

보다 높은 프리틸트를 나타내었다. 고분자 기판의 표면의 거칠기(surface roughness=5nm)가 유리 (surface roughness=11~13Å)보다 크기 때문에 폴리이미드 막 표면에 러빙시 생기는 microgroove가 더 크게 형성되므로 더 높은 프리틸트가 발생한다고 생각할 수 있다. 결국 고분자막 표면처리에 의한 액정의 표면 분자배향은 고분자막의 표면형성이 프리틸트 발생에 기여한다고 생각할 수 있다.

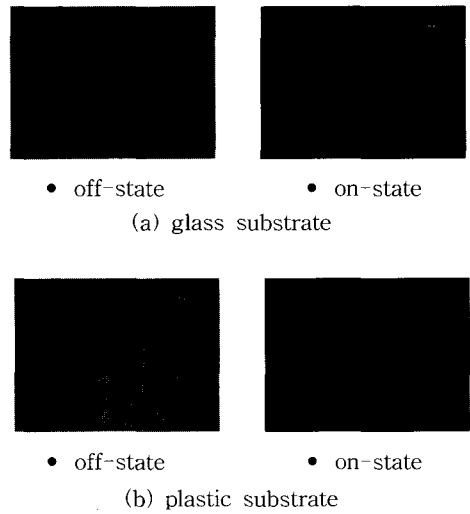


그림 5. 2종류의 기판을 이용한 위상차 필름을 사용하지 않은 러빙처리된 TN-LCD의 편광현미경 사진(편광자는 직교상태).

Fig. 5. Microphotographs of the glass and polymer substrate TN-LCD (in-crossed Nicols).

그림 5에 고분자 및 유리기판을 이용한 경우, 러빙처리된 TN-LCD의 편광현미경 사진을 나타내었다. 그림에서와 같이 플라스틱과 유리기판을 이용한 TN-LCD의 인가 전압에 대한 on-off 특성이 매우 우수함을 알 수 있었다.

그림 6은 고분자 및 유리기판을 이용한 경우 폴리이미드 표면에서의 TN셀의 전압-투과율 곡선을 나타내었다. 이 그림에서와 보는 바와 같이 유리기판과 고분자 기판을 이용한 두가지 종류의 TN셀 모두 bounce가 없는 안정적인 V-T 특성을 나타내었다. 그러나, 고분자 기판을 이용한 TN셀은 유리기판을 이용한 TN셀보다 낮은 투과율 특성을 나타내었다.

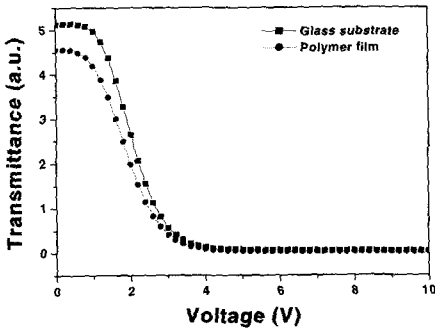


그림 6. 고분자 및 유리기판을 이용한 경우 폴리이미드 표면에서의 TN셀의 전압-투과율 곡선.

Fig. 6. V-T characteristic of TN cell on polymer and glass substrate.

표 1 에 고분자 및 유리기판을 이용한 TN-LCD의 임계치 전압을 나타내었다. 전체적으로 고분자 기판을 이용한 TN-LCD의 임계치 전압은 유리기판을 이용한 TN-LCD와 거의 동일하며, 매우 우수한 임계치 전압을 나타내었다.

표 1. 2종류 기판을 이용한 러빙처리된 TN-LCD의 임계치 전압.

Table 1. Threshold voltage of the rubbing aligned TN-LCD using two kinds of substrates.

Type \ Voltage	$V_{90}(v)$	$V_{10}(v)$
Glass	1.21	2.97
Plastic	1.39	3.10

* V_{90} 은 투과율이 90%일 때의 전압, V_{10} 은 투과율이 10%일 때의 전압

그림 7은 고분자 및 유리기판을 이용한 경우 폴리이미드 표면에서의 응답 특성을 나타낸다. 그림에서와 보는 바와 같이 유리기판과 고분자 기판을 이용한 두가지 종류의 TN셀 모두 안정적인 특성을 나타내었다. 그리고 고분자 기판을 이용한 TN셀은 유리기판을 이용한 TN셀보다 낮은 투과율 특성을 나타내었다.

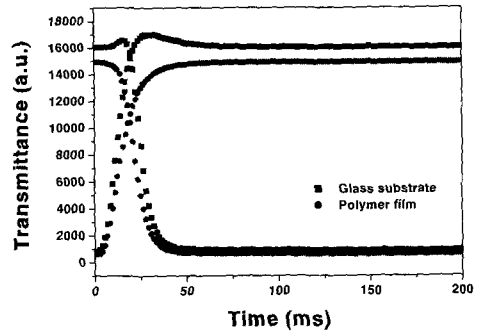


그림 7. 고분자 및 유리기판을 이용한 경우 폴리이미드 표면에서의 응답 특성.

Fig. 7. R-T characteristic of TN cell on polymer and glass substrate.

표 2에서 고분자 및 유리기판을 이용한 TN-LCD의 응답시간을 나타내었다. 특히, 액정의 Rising time 은 고분자 기판을 이용한 경우가 유리기판을 이용한 경우가 상당히 빠른 응답속도를 나타내었으며, 액정의 decay time 역시 고분자 기판을 이용한 경우가 빠른 응답속도를 나타내었다. 결국, 고분자 기판을 이용한 TN-LCD는 유리기판을 이용한 TN-LCD보다 빠른 응답 특성을 나타내었다.

표 2. 2종류 기판을 이용한 러빙 처리된 TN-LCD의 응답속도.

Table 2. Response time for the rubbing aligned TN-LCD using two kinds of substrates.

Alignment Layer \ Time	Rising time τ_r (ms)	Decay time τ_d (ms)	Total response time τ (ms)
	Glass	12.5	13.3
Plastic	7.7	10.54	18.24

4. 결론

본 연구에서는 고분자 필름을 이용하여 러빙된 폴리이미드 표면에 액정소자의 전기광학특성에 대

해서 검토하였다. 고분자 기판위에 러빙된 액정셀은 매우 양호한 배향을 나타내었다. 또한 고분자 기판을 이용한 액정의 프리틸트각은 유리 기판을 이용한 액정의 프리틸트각 보다 높은 프리틸트각을 나타내었다. 그리고 고분자 및 유리기판을 이용한 TN-LCD는 모두 양호한 배향특성을 나타내었다. 특히 고분자 기판을 이용한 TN-LCD는 양호한 전압-투과율 특성을 나타내었으며, 유리기판을 이용한 TN-LCD보다 빠른 응답 특성을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업 (M1-0203-00-0008)의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] M. Yanaka, Y. Tsukahara, T. Okabe, and N. Takeda, "Statistical analysis of multiple cracking phenomenon of a SiO_x thin film on a polymer substrate", J. Appl. Phys., Vol. 90, No. 2, p. 713, 2001.

[2] M. Yanaka, Y. Kato, Y. Tsukahara, and N. Takeda, "Effects of temperature on the multiple cracking progress of sub-micron thick glass films deposited on a polymer substrate", Thin Solid Films, Vol. 355, p. 337, 1999.

[3] P. C. P. Bouten, "Failure test for brittle conductive layers on flexible display substrates", EURODISPLAY, p. 313, 2002.

[4] D. R. Cairns, R. P. Witte II, D. K. Sparacin, S. M. Sachsman, D. C. Paine, G. P. Crawford, and R. R. Newton, "Strain-dependent electrical resistance of tin-doped indium oxide on polymer substrate", Appl. Phys. Lett., Vol. 76, No. 11, p. 1425, 2000.

[5] H. Sato, H. Fujikake, H. Kikuchi, Y. Iino, M. Kawakita, and Y. Tsuchiya, "Fluorinated polymer alignment layers formed at low temperature", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, No. 1, p. L53, 2001.

[6] D.-S. Seo, S. Kobayashi, and M. Nishikawa, "Study of the pretilt angle for 5CB on rubbed polyimide films containing trifluoromethyl moiety and analysis of the surface atomic concentration of F/C(%) with an electron spectroscope for chemical analysis", Appl. Phys. Lett., Vol. 61, p. 2392, 1992.

[7] D.-S. Seo, K. Muroi, and S. Kobayashi, "Generation of pretilt angles in nematic liquid crystal, 5CB, media aligned polyimide films prepared by spin-coating and LB techniques : effect of rubbing", Mol. Cryst. and Liq. Cryst., Vol. 213, p. 223, 1992.

[8] D.-S. Seo and J.-H. Choi, "Relationship between the pretilt angle and the anchoring strength in nematic liquid crystal on rubbed polyimide surface," 전기전자재료학회논문지, 12권, 4호, p. 361, 1999.

[9] D.-S. Seo and T.-G. Park, "Investigation of washing process on surface liquid crystal alignment and polar anchoring energy in NLC on rubbed polyimide surfaces", 전기전자재료학회논문지, 12권, 12호, p. 1180, 1999.

[10] 황정연, 이상극, 서대식, "Fluorine 계열의 폴리머를 함유한 복합 폴리이미드 표면에서의 네마틱액정의 프리틸트 발생의 메카니즘", 전기전자재료학회논문지, 15권, 11호, p. 981, 2002.