

경사진 자외선조사를 이용한 네마틱액정의 프리틸트각의 발생 및 광배향 TN-LCD의 전기광학특성

11-10-26

Pretilt Angle Generation of NLC and EO Performance of Photo-aligned TN-LCD Using Oblique Non-polarized UV Light Irradiation on Polymer Surface

서대식*, 한정민*, 박두석*

(Dae-Shik Seo, Jeong-Min Han, Doo-Seok Park)

Abstract

In this paper, we have investigated the generation of pretilt angle for nematic liquid crystal (NLC) in a cell with oblique non-polarized ultraviolet(UV) light irradiation on polyimide (PI) surfaces. It was found that the monodomain alignment of the NLC is obtained with an angle of incidence of 70~85° on PI surface. It is considered that the monodomain alignment of NLC is attributed to anisotropic dispersion force due to photo-depolymerization of polymer on PI surfaces. Also, generated pretilt angle of NLC is about 3° with an angle of incidence of 70~75°. Finally, we observed that the voltage-transmittance, response time, and voltage-holding-ratio(VHR) characteristics of photo-aligned twisted nematic(TN)-LCD with an angle of incidence of 85° on PI surface were almost same compared to rubbing-treated TN-LCD.

Key Words(중요용어) : Pretilt angle(프리틸트각), Nematic liquid crystal(네마틱액정), Polyimide surface(폴리이미드막), Photo-alignment(광배향), Photo-depolymerization(광분해), EO performance(전기광학특성)

1. 서론

최근 휴대용 정보표시소자나 노트북 PC 등에서 사용이 증가하고 있는 액정디스플레이(LCD)에 있어서 고체기판 위에 액정분자를 균일하게 배열시키는 액정배향기술은 LCD의 전기광학특성 등에 크게 관여하고 있다.

기판표면 위에 액정분자가 기판표면과 이루는 경사진 각도를 프리틸트각 (pretilt angle)이라고 하며 이 프리틸트각은 TN-LCD에 있어서 분자도메인의 불연속

으로 인한 디스클리네이션 (reverse tilted disclination) 등의 결함을 방지하는 역할을 할뿐만 아니라 소자의 특성을 좌우하는 중요한 역할을 하고 있다.

LCD의 액정배향법으로는 러빙처리법이 많이 사용되고 있으며 이것은 고분자막 위를 섬유질 등으로 한쪽 방향으로 문지름으로써 그 방향으로 액정분자를 배향시키는 방법이다.¹⁻³⁾ 이 러빙처리법은 배향처리가 간편하며 비교적 안정된 배향이 실현되어 현재 LCD제조공정에서 이 방법을 사용하고 있다. 그러나 러빙처리법은 섬유질과 고분자막 표면이 직접적으로 접촉하기 때문에 이 과정에서 생기는 먼지나 오물에 의한 기판 표면의 오염과 이를 위한 세척 공정이 추가되며, 정전기를 발생시켜 LCD소자의 표시품질을 저하시키는 직접적인 원인이 되고 있다. 따라서 최근 직접 러빙을 하지 않고 액정분

* : 숭실대학교 공과대학 전기공학과
(서울시 동작구 상도 5동 1-1, Fax: 02-817-7961
E-mail : dsseo@elecpr.soongsil.ac.kr)
1998년 6월 27일 접수, 1998년 8월 24일 심사완료

자를 배향시키는 너러빙처리법에 대한 배향기술이 요구되고 있다.⁴⁾

이러한 너러빙에 의한 배향처리법은 단분자를 Langmuir-Blodgett (LB)법을 이용하여 액정분자를 배열시키는 폴리이미드(PI)-LB법에 관한 연구로부터 시작되어 그 중요성이 인식되게 되었다.⁵⁾

너러빙배향기술에는 광배향법,⁶⁻¹³⁾ 전사배향법,¹⁴⁾ 그리고 PI-LB법⁵⁾ 등이 알려져 있다. 광배향법에는 광분해법,⁶⁻¹⁰⁾ 광중합법,¹¹⁾ 광이성화법¹²⁾ 등이 알려져 있다. 광분해법은 Hasegawa 등이 제안한 것으로 폴리이미드막 표면 위에 편광된 UV광을 조사시켜 편광된 방향과 직교 방향으로 액정분자를 배열시키는 방법이며 폴리머의 광분해반응을 이용한 방법이다.⁶⁾ 그리고, Yamamoto등에 의하여 고분자막 표면에 편광되지 않은 UV광을 경사지게 조사하여 균일한 액정배향을 얻은 것이 보고되었다.⁹⁾ 최근, 본 저자 등은 폴리이미드막 표면에 편광되지 않은 UV광을 경사조사시킨 액정셀에서 네마틱액정의 균일한 배향과 프리틸트각의 3° 이상의 실현을 보고하였다.¹⁰⁾

본 연구에서는 편광되지 않은 UV광을 폴리이미드막에 조사하여 UV광의 입사각도와 프리틸트각의 발생과의 상호관계 및 광배향 TN-LCD의 전기광학 특성에 관하여 연구보고 하였다.

2. 실험

실험에는 그림 1에 나타난 것과 같은 측쇄기를 가지는 폴리머를 사용하였다(Nissan Chemical Industries Co., Ltd. 제공). ITO 전극이 형성된 유리기판 위에 스핀 코팅법을 이용하여 폴리머를 코팅한 후, 핫플레이트에서 80℃로 10분간 초기 열처리한 후 다시 250℃의 오븐에서 1시간 동안 열처리하여 폴리이미드막을 제작하였다.

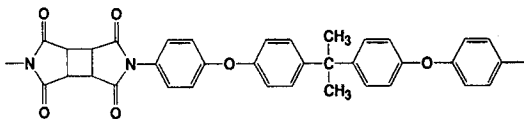


그림 1. 사용한 폴리머의 구조.

Fig. 1. The used molecular structure of the polymer.

그림 2는 UV광의 조사시스템을 나타낸다. UV광의 파장 영역은 365nm이고, 광원은 1kW의 UV램프

를 사용하였다. UV광은 1시간과 2시간을 조사하였으며, 램프와 기판과의 거리는 30cm 이다.

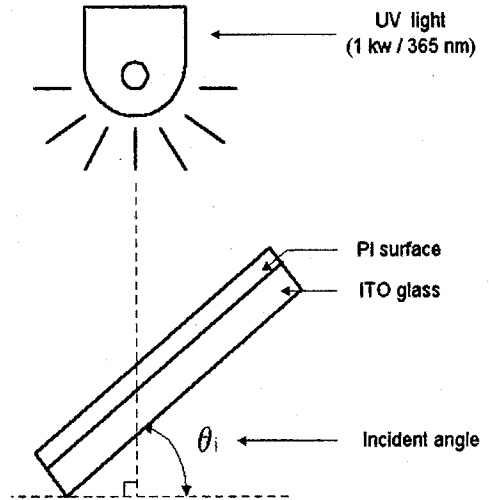


그림 2. UV광 조사 장치의 개략도.

Fig. 2. A schematic diagram of UV light irradiation system.

프리틸트각의 측정을 위한 셀의 제작은 UV광 조사의 입사방향을 기준으로 하여 서로 반대 방향으로 마주보게 셀을 제작(anti-parallel structure)하였으며 두께는 약 60 μ m로 하였다. 액정은 불소계열의 혼합형 네마틱 액정(네마틱-동방상태의 상전이 온도 $T_c = 87^\circ\text{C}$)을 사용하였다. 그리고 광배향 TN-LCD를 제작하기 위하여 기판에 85°의 경사각도로 UV광을 1시간 조사하였으며 셀 두께는 약 5 μ m 정도로 조절하였다. TN-LCD 제작에는 불소계열의 네마틱 액정에 chiral dopant를 첨가하여 d/p 값을 조절하여 첨가하였으며 90° 회전한 피치를 가지도록 하였다. 액정주입은 진공챔버를 사용하여 네마틱상태에서 진공주입한 후 30분간 열처리하였다. 폴리이미드막에 UV광을 경사지게 조사한 광배향 TN-LCD와 전기광학특성을 비교하기 위하여 러빙처리한 TN-LCD를 제작하였으며, 러빙강도(RS)는 164mm를 사용하였다. 제작한 셀의 배향상태를 관찰하기 위하여 편광현미경을 사용하였다. 그리고 액정의 프리틸트각은 결정회전법을 사용하여 실온에서 측정하였다. TN-LCD의 전기광학 특성을 평가하기 위하여 투과율-전압특성, 응답특성, 그리고 전압보유율(VHR)특성 등을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3에 폴리이미드막에 80° 로 경사진 UV광을 2시간 조사시킨 셀의 네마틱액정의 편광현미경 사진을 나타내었다. 편광현미경 관찰시 2개의 편광자를 직교상태(in crossnicols)상태로 두고 그 사이에 액정셀을 두었다. 그림 3과 같이 80° 에서 2시간 UV광을 조사한 셀에서는 균일한 배향이 얻어지는 것이 관찰되었다. 이것은 경사지게 UV광을 조사한 액정셀에서의 액정배향은 폴리이미드막 표면에 UV광의 조사와 함께 폴리머의 광분해반응이 이루어짐으로써 광학이방성이 발생하고, 그 방향으로 액정분자가 배열하는 것으로 생각할 수 있다.⁶⁻¹¹⁾

그림 4는 결정화전법을 이용한 프리틸트각의 측정으로 UV광의 입사각도와 투과율과의 관계를 나타내었다. 그림 4(a)는 UV광 조사각도가 75° 일 때의 결과로서 대칭축이 중심에서 이동되어 있으며 이를 계산하면 약 3° 정도의 값이 얻어지며, 그림 4(b)는 UV광 조사각도가 80° 일 때의 결과이며 역시 대칭점이 중심에서 이동되어 있으며, 프리틸트각을 계산하면 약 2° 이다. 이러한 결과를 바탕으로 UV광의 입사각도와 조사시간을 변화시킨 셀에서의 프리틸트각의 발생을 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)는 1시간 UV광을 조사하였을 때의 결과로 비교적 낮은 UV광의 조사 각도에서 액정의 프리틸트각이 크게 발생하였으며 그림 5(b)는 2시간 UV광을 조사하였을 때의 결과로서 비교적 높은 입사각도에서 프리틸트각이 크게 발생하는 경향을 나타내고 있다.

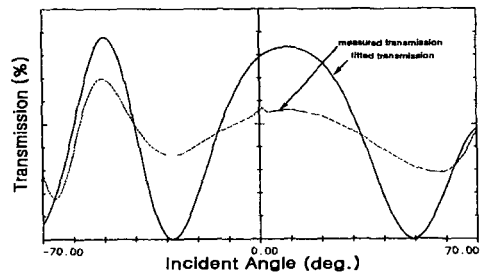
그림 6에 폴리이미드막에 경사진 UV광 조사에 따른 액정배향의 모델을 나타내었다. S파면의 광분해반응이 많이 이루어지며 P파면은 상대적으로 광분해반응이 감소함으로써 P파면에 알킬기가 남게 되며 이 방향으로 액정분자가 배열하는 것으로 생각할 수 있다. 그리고 경사지게 UV광을 조사한 폴리이미드막에서의 프리틸트각의 발생은 UV광의 조사에 따른 폴리머의 광분해반응이 이루어져 액정분자와 폴리머의 표면구조와의 상호작용에 기인한 것으로 생각할 수 있으며, 이것은 배체체적효과가 크게 기여하고 있는 것으로 생각할 수 있다. Yamamoto등은 비편광된 UV광을 경사지게 고분자막에 조사하였을 때 조사각도가 커짐에 따라서 프리틸트각이 감소하는 경향을 보고하고 있다.⁹⁾ 즉, Yamamoto 등의 연구결과와 본 실험의 결과가 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 조사각도의 의존성 외에 조사시간이 증가함에

따라 높은 입사각도에서 프리틸트각이 크게 발생하는 경향을 발견하였다. 이는 폴리이미드막 표면에 도달하는 편광되지 않은 UV광의 에너지 밀도가 조사각도의 증가에 대해서 차이가 나기 때문이라고 생각되며 이는 각도(θ)의 증가에 대해서 조사되는 UV광의 밀도가 $\cos \theta$ 의 관계로 감소하기 때문이라고 생각할 수 있다. 즉 UV광의 입사각도가 80°에서 75°와 같은 양의 UV광을 조사시키기 위해서는 약 1.4배 정도의 조사시간이 더 필요하며 이러한 관계에 의해서 조사시간의 증가에 따라서 동등한 프리틸트를 발생시키기 위해서는 조사각도가 증가하여야 된다. 바꾸어 말하면, 상대적으로 많은 에너지를 받는 75°에서는 조사시간이 짧아지지만, 80°에서는 75°와 동등한 효과를 내기 위해서는 보다 많은 조사시간을 필요로 하는 것으로 생각할 수 있다.



그림 3. 폴리이미드막에 80° 로 경사지게 UV광을 2시간 조사시킨 셀의 네마틱액정의 편광현미경사진.

Fig. 3. The microphotographs of aligned NLC in a cell with oblique non-polarized UV light irradiation of 80° on PI surface (in crossnicols).



(a)

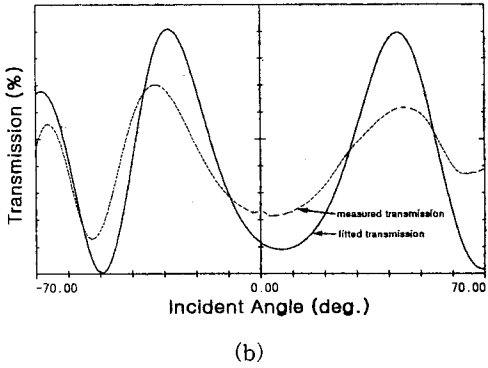


그림 4. 프리틸트각의 측정에 있어서 투과율과 입사각도의 관계.

- (a) 1시간 조사에서 UV광의 입사 각도가 75° 일 때 ;
- (b) 2시간 조사에서 UV광의 입사 각도가 80° 일 때.

Fig. 4. The transmission versus incident angle on pretilt angle measurement.

- (a) incident angle of 75° (1hr.) ;
- (b) incident angle of 80° (2hr.).

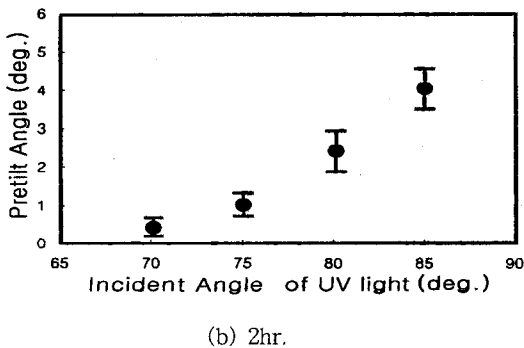
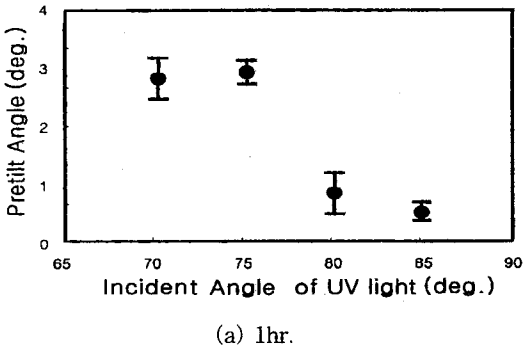


그림 5. 폴리이미드막에 편광되지 않은 UV광을 경사지게 조사한 경우의 네마틱액정의 프리틸트각의 입사각도의존성.

Fig. 5. The generation of pretilt angle in NLC with non-polarized UV light irradiation on PI surface as a function of incident angle.

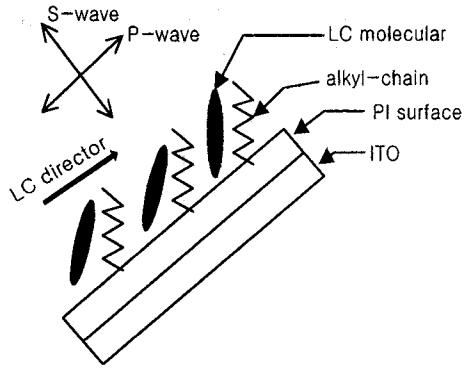
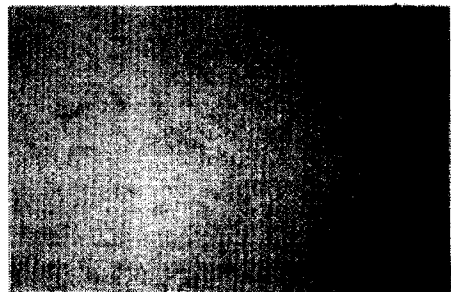


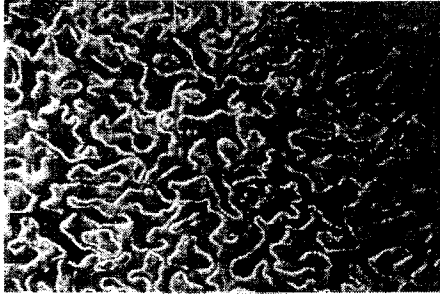
그림 6. 폴리이미드막에 편광되지 않은 경사진 UV 광조사에 따른 액정분자의 배열.

Fig. 6. The liquid crystal alignment with an oblique non-polarized UV light irradiation on PI surface.

그리고 폴리이미드막에 80° 로 경사진 UV광을 1시간 조사시켜 광배향 TN-LCD를 제작하였다. 2장의 편광자가 직교된 상태에서 전압인가시와 전압무인가시를 편광현미경으로 관찰한 사진을 그림 7에 나타내었다. 전압인가시에는 작은 크기의 도메인이 다수 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 이것은 reverse tilt disclination으로 생각할 수 있으며 광배향 TN-LCD에서는 이러한 도메인이 다수 발생하는 것을 알 수 있었다.



(a) off-state



(b) on-state

그림 7. 폴리이미드막에 80° 로 경사진 UV광을 2시간 조사시킨 광배향 TN-LCD의 편광현미경 사진.

Fig. 7. The microphotograph of photo-aligned TN-LCD with oblique non-polarized UV light irradiation of 80° on PI surface for 2 hr

그림 8에 UV광 조사를 이용한 광배향 TN-LCD와 러빙처리된 TN-LCD의 전압-투과율특성을 나타내었다. 러빙처리된 TN-LCD에 비해서 광배향 TN-LCD의 임계치특성이 급격한 경향을 나타내고 있다.

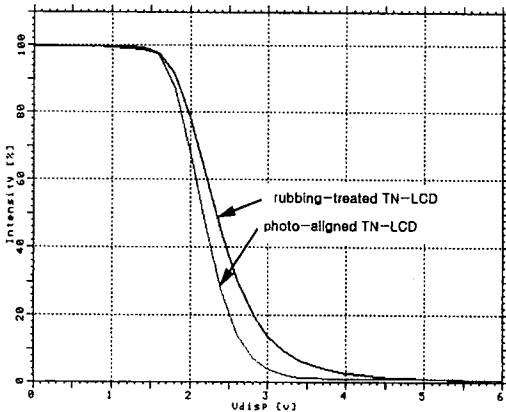


그림 8. 폴리이미드막에 80° 로 편광되지 않은 경사진 UV광을 조사한 광배향 TN-LCD와 러빙처리된 TN-LCD의 전압-투과율 특성.

Fig. 8. The voltage-transmission characteristics of photo-aligned TN-LCD with oblique non-polarized UV light irradiation of 80° on PI surface and rubbing-treated TN-LCD.

표 1에 광배향 TN-LCD와 러빙처리를 이용한 TN-LCD의 구동전압에 따른 투과율을 나타내었다. 여기서 V_{10} 은 투과율이 10%일 때의 전압, V_{90} 은 90%일 때의 전압을 나타낸다.

표 1. 광배향 TN-LCD와 러빙처리된 TN-LCD의 구동전압에 따른 투과율.

Table 1. The applied transmission versus voltage for photo-aligned TN-LCD and rubbing-treated TN-LCD on PI surface.

	rubbing-treated TN-LCD (V)	photo-aligned TN-LCD (V)
V_{10}	3.16	2.70
V_{90}	1.82	1.75

그림 9에 광배향 TN-LCD와 러빙처리된 TN-LCD의 응답특성을 나타내었다. 광배향 TN-LCD의 응답특성은 러빙처리된 TN-LCD와 비교하여 거의 동등한 수준의 응답특성을 나타내고 있는 경향을 알 수 있다. 그리고 광배향 TN-LCD와 러빙처리된 TN-LCD의 응답속도를 표 2에 나타내었다. 광배향 TN-LCD의 응답속도는 약 30 ms 정도를 나타내고 있다.

표 2. 광배향 TN-LCD와 러빙처리된 TN-LCD의 응답속도.

Table 2. The response time characteristics for photo-aligned TN-LCD and rubbing-treated TN-LCD on PI surface.

	Rising Time τ_r (msec)	Decay Time τ_d (msec)	Response Time τ (msec)
rubbing-treated TN-LCD	8.1	12.7	20.9
photo-aligned TN-LCD	9.6	22.2	31.8

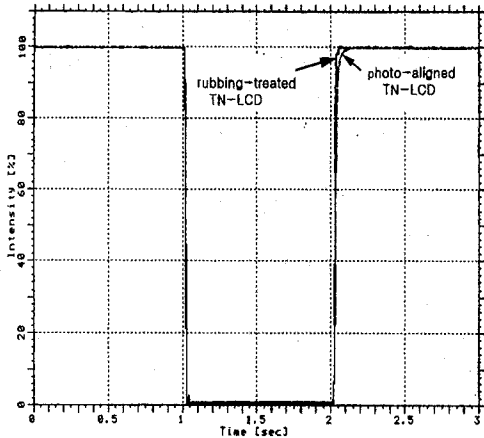


그림 9. 폴리이미드막에 80° 로 편광되지 않은 경사진 UV광을 조사한 광배향 TN-LCD와 러빙처리된 TN-LCD의 응답특성.

Fig. 9. The response time characteristic for photo-aligned TN-LCD with oblique non-polarized UV light irradiation of 80° on PI surface and rubbing-treated TN-LCD.

그리고, 광배향 TN-LCD의 전압보유율(VHR)특성을 평가하였다. 전압보유율특성은 60Hz의 frame cycle로 1V의 전압을 인가하여 측정한 결과, 광배향 TN-LCD에서는 약 94%정도를 나타내었으며 이 값은 러빙처리된 TN-LCD와 비교하여 거의 동등한 값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 폴리이미드막 표면에 UV광을 경사지게 조사시킨 셀에서의 프리틸트각의 UV광의 조사각도와 조사시간에 따른 의존성과 광배향을 이용한 TN-LCD의 전기광학특성에 관하여 연구하였다. UV광을 경사지게 조사시킨 셀에서의 균일한 배향은 UV광 조사에 따른 폴리머의 광분해가 이루어짐으로써 이방성분산력이 기여한 것으로 생각할 수 있었다. 그리고 액정의 프리틸트각은 1시간 UV광의 조사시에는 입사 각도가 75° 에서 약 3° 가 발생하였으며, 2시간 조사시에는 80° 에서 약 2° 가 발생하였으며 이것은 UV광의 조사에 따른 폴리머의 광분해로 인한 액정분자와 폴리머의 표면구조와

의 상호작용으로 배제체적효과가 기여한 것으로 생각할 수 있었다.

그리고 광배향 TN-LCD의 전압-투과율 특성, 응답특성, 그리고 전압보유율특성 등은 러빙처리된 TN-LCD와 거의 동등한 수준의 특성을 나타내고 있는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. T. Sugiyasma, S. Kuniyasu, D.-S. Seo, H. Fukuro, and S. Kobayashi, "A simple model for pretilted nematic liquid crystal medium and its torsional surface coupling strength", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 29, pp. 2045, 1990.
2. D.-S. Seo, K. Muroi, and S. Kobayashi, "Generation of pretilt angles in nematic liquid crystal, 5CB, media aligned on polyimide films prepared by spin-coating and LB techniques : effect of Rubbing", Mol. Cryst. Liq. Cryst. vol. 213, pp. 223, 1992.
3. 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 spectroscopy for chemical analysis", Appl. Phys. Lett. vol. 61, pp. 2392, 1992.
4. H. Matsuda, D.-S. Seo, N. Yoshida, K. Fujibayashi, and S. Kobayashi, "Effect of the molecular structure of weakly rubbed organic solvent soluble polyimide with trifluoromethyl moieties on anchoring strength of liquid crystal", Mol. Cryst. Liq. Cryst. vol. 264, pp. 23, 1995.
5. D.-S. Seo, H. Matuda, T. Ohi-Ide, and S. Kobayashi, "Alignment of nematic liquid crystal(5CB) on the treated substrates : characterization of orientation films, generation of pretilt angles, and surface anchoring strength", Mol. Cryst. Liq. Cryst. vol. 224, pp. 13, 1993.
6. M. Hasegawa and Y. Taira, "Nematic homogeneous alignment by photo depolymerization of polyimide", SID digest paper, pp. 213, 1994.
7. J. L. West, X. Wang, Y. Ji, and J. R. Kelly, "Polarized UV-exposed polyimide films for liquid-crystal alignment", SID digest paper, pp. 703, 1995.
8. X. Wang, D. Subacius, O. Lavrentovich, and J. L. West,

- "Four-domain LCD using high-pretilt photoaligned polyimide substrate", SID digest paper, pp.654, 1996.
9. T. Yamamoto, M. Hasegawa, and H. Hatoh, "Liquid-crystal alignment by slantwise irradiation of non-polarized UV light on a polyimide layer", SID digest paper, pp. 642, 1996.
10. 서대식, 황을연, 이보호, "폴리이미드막표면위에 경사진 자외선 조사를 이용한 네마틱 액정의 배향에 관한 연구", 전기전자재료학회지 10권, 461, 1997.
11. D.-S. Seo, L.-Y.Hwang, and S. Kobayashi, "Investigation of pretilt angle generation in nematic liquid crystal with slanted non-polarized ultraviolet light irradiation on polyimide surfaces", Liq. Crystals vol. 23, pp. 923, 1997.
12. M. Schadt, K. Schmitt, and V. Kozinkov, "Surface-induced parallel alignment of liquid crystals by linearly polymerized photopolymers", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 31, pp. 2155, 1992.
13. P. J. Shannon, W. M. Gibbons, and S. T. Sun, "Patterned optical properties in photopolymerized surface-aligned liquid-crystal films", Nature vol. 368, pp. 532, 1994.
14. Y. Toko, B. Y. Zhang, T. Sugiyama, K. Katoh, and T. Akahane, "Characteristics of liquid crystal display fabricated by alignment transcription method", Mol. Cryst. Liq. Cryst. vol. 304, pp. 107, 1997.