

한진우 박사과정  
(연세대 전기전자공학과)  
황정연 Post Doctor  
(Kent State Univ.)  
서대식 교수  
(연세대 전기전자공학부)

## 1. 서론

액정표시장치(LCD)는 고도의 정보화 사회에 필수적인 역할을 담당하며, 매우 큰 시장을 확보하고 있다. 특히 개인용 노트북 PC의 시장 점유율은 거의 100%이다. LCD 모니터는 판매 금액면에서도 2001년 66억 달러에서 2007년 244억 달러로 증가하여 연평균 24.3%의 성장률을 기록하고 있다. Desktop과 Workstation용 모니터는 2007년에 1억 4330만대에 달하고, Flat Panel 시장은 전체 모니터 시장의 38.9%를 차지할 것으로 전망된다. 최근 Flexible Display가 차세대 Display 기술로서 높이 평가되고 있다. 이러한 Flexible Display는 Hand Held Phone, PDA, e-Book, e-Paper등에 사용되어 향후 차세대 Display 시장에서 큰 역할을 할 것으로 예상된다.

그래서 본 기술해설에서는 이러한 Flexible LCD의 액정 배향 요소 기술에 관해서 설명하고자 한다.

## 2. Flexible LCD

Flexible LCD는 기판을 유리 대신 고분자 필름(플라스틱)으로 대체하는 액정 디스플레이를 의미한다. 표1에 나타낸 바와 같이 고분자 기판은 유리 기판에 비해 두께가 절반, 무게는 약 3분의 1이다. 또한 유리보다 외부 충격에 강하고, 기판 자체가 광학 특성을 갖추고 있기 때문에 유리에 부착되는 광학 필름이 필요없다. 고분자 기판은 합성수지를 박막 상태로 평면 가공한 것으로 두께는 200마이크로미터까지 최소화할 수 있다. 휴대전화의 2인치형 LCD용 기판에 비하면 무게는 유리의 10g에 대하여 3g이다. 이러한 Flexible LCD는 기존 LCD의 유리 기판을 0.6 mm 정도 두께의 얇은 고분자 필름으로 대체해 만든 차세대 LCD로 가볍고 패키징이 얇은

데다 유연성이 뛰어나 깨지지 않고 제조비용이 절감된다는 장점 때문에 스마트카드나 휴대전화기, PDA 등 소형 단말기에 사용된다. 현재의 LCD는 빛의 반사를 억제하거나 밝기를 조정하기 위해 3~4장 정도의 광학필름을 유리기판 위에 적층하고 있다. 그러나 Flexible LCD에서 사용하는 고분자 기판은 수지의 성형 과정에서 내부에 미립자를 분산시키고 표면에 미세가공을 실시함으로써 기판 자체에 광학 특성을 갖도록 한다. 하지만 플라스틱 기판은 기판이 가지는 유연성과 고분자 필름의 열적 안정성이 낮기 때문에 TFT 소자의 박막화 및 고열이 가해지는 LCD의 제조공정에서 고분자 필름이 변형되기 쉬운 단점을 가지고 있다. 또한 고분자 기판은 제조비용이 유리보다 높다는 문제점을 가지고 있다.

표2는 Plastic 기판의 종류 및 장단점을 나타낸다.

표 1. Glass 와 Plastic Film과의 비교.

항 목	Glass	Plastic Film
Flexibility	Rigid	Flexible
Weight	2.5 g/cm <sup>2</sup>	1.2 g/cm <sup>2</sup>
Thickness	1-3 mm	< 0.76 mm
Impact	Fragile	Excellent
Surface	Flat	Curved
Shape	Rectangle	Any Shape
Cost	Expensive	Cheap

표 2. Plastic 기판의 종류.

종류	Polycarbonate (PC)	Polyethersulfone (PES)	Polyethylene (PET)
두께	100,200 μm	200 μm	180 μm
저항	45 Ω / m	45 Ω / m	60 Ω / m
내온도	120 ℃	180 ℃	150 ℃
Roughness	5 nm	10 nm	10 nm
특징	낮은 열저항	화학적 불안정	고복굴절 (STN-LCD불가)

### 3. Flexible LCD의 과제

Flexible LCD는 앞에서 열거한 많은 장점에도 불구하고 아직 일반적인 Display로 쓰이지 못하는 이유는 Flexible LCD의 기판으로 사용되는 고분자 기판의 가격이 고가이고, 또한 이러한 고분자 기판이 열적으로 불안정하며, 기판이 딱딱한 유리 기판과 달리 기판이 유연하여 모든 공정을 새로운 방식으로 해야하는 단점을 가지고 있다.

첫 번째로 고분자 기판이 열적으로 불안정하여 저온 공정이 필요하다는 점이다. 이것은 기존의 TFT-LCD 공정에 견딜 수 있는 고온의 기판을 제작하거나 또는 모든 공정을 저온공정으로 해야 한다.

두 번째로 기판이 유연하기 때문에 유리공정에 사용되는 장비로 그대로 사용하기 어렵다는 점이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 고분자 기판에 적합한 공정 장비와 기술을 새롭게 개발하여야 한다. 이러한 공정상의 문제점과 동시에 고분자 기판에서의 액정배향기술도 해결되어야 할 과제이다.

### 4. Flexible LCD 개발동향

삼성전자(주)는 2005년 1월 투명 플라스틱 기판에 a-Si 기술을 적용한 투과형 5인치 플라스틱 TFT-LCD 기술을 구현하였고 이어 11월에는 세계최대크기인 VGA급 7인치 패널을 발표하였다. 삼성전자(주)는 지속적인 연구개발을 통해 이 기술을 휴대폰, 노트북 등 모바일 제품에 적용, 2~3년 후에는 본격적인 제품 양산이 가능하도록 한다는 계획이며 이와 함께 헬멧이나 안전처럼 착용할 수 있는 '입는 디스플레이', 목걸이용 액세서리로 활용할 수 있는 '패션 디스플레이' 등 새로운 사업영역을 창출해 나간다는 방침이다. Fujitsu사는 2005년 7월 콜레스테릭 액정을 사용하여 전압미인가시에도 화면을 표시할 수 있는 3.8인치 플라스틱 LCD 패널을 발표하였고, 2~3년 내에 상용화시킨다는 계획이다. Philips는

PDA용 320 × 240 5인치 흑백 LCD패널을 개발하여 시제품을 발표했다.

### 5. Flexible LCD의 액정배향 기술

LCD는 일반적으로 샌드위치형으로 그 안에 주입되어 봉합된 액정은 기판의 표면 처리법에 의하여 일정한 방향으로 균일하게 배향된다. 예를 들면, TN-LCD와 STN-LCD 등이다.

#### 5.1 고분자막의 러빙법

고분자막의 표면 위를 형질 등으로 일정한 방향으로 문지름으로서(러빙법) 고분자를 재배열시켜서 러빙방향으로 액정분자를 배향시켜준다. 이 러빙법은 간편하고 배향이 안정하여 산업현장에 있어서 가장 많이 사용되고 있다. 이 방법에는 폴리이미드막이 가장 많이 사용되고 있다. 러빙의 강약을 나타내는 러빙강도(Rubbing Strength)는 본 연구그룹에 의하여 다음과 같이 정의되었다[1, 2].

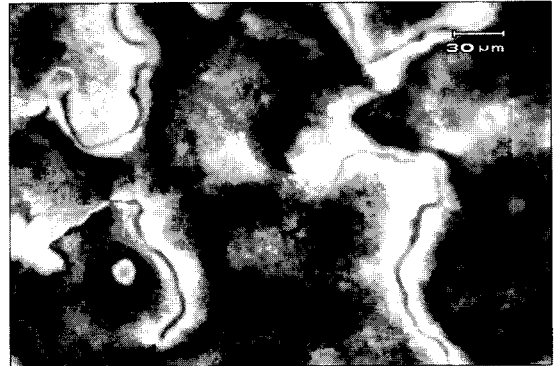
$$RS = NM \left( \frac{2\pi rn}{v} - 1 \right)$$

여기서, N 은 러빙한 회수(여기서는 N=1로), M 은 섬유 기판과의 접촉 거리, n 은 러빙롤러의 회전수(1000/60 S), v는 기판의 이동속도(7.0(mm/s)), r은 러빙롤러의 반경을 나타낸다. 여기서는 러빙강도에 가장 큰 기여를 하는 섬유 표면과 기판과의 접촉 거리인 M을 변화시켜서 러빙강도를 변화시켰다. 실제로, 단위 면적 당의 러빙에 의한 일의 양 W 는  $W = a \cdot RS$  를 변화시켜 줌으로서 실제의 일 W를 변화시킬 수 있다.

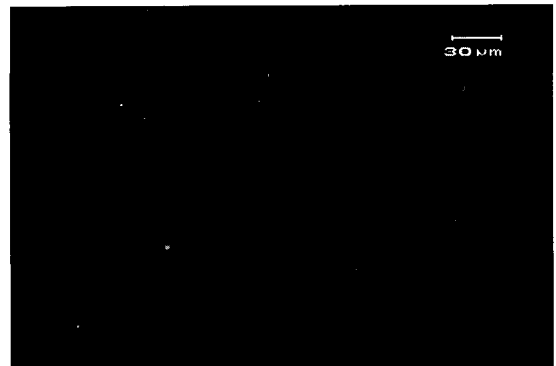
#### 5.2 광배향법

LCD의 표시 성능을 결정하는 중요한 기술인 액정의 배향제어법은 LCD 소자의 개발 당초부터 러빙법이 사용되어 왔다. 이 러빙법은 배향처리가 간단

및 안정, 대량생산에 적합, 프리틸트각의 제어가 용이한 점등의 이점이 있어 현재 가장 많이 이용되고 있다. 그러나 이 방법은 러빙할 때 발생하는 먼지나 정전기로 인한 박막 트랜지스터 소자의 파괴 및 제조 공정이 증가하는 등의 문제가 있어서 이전부터 배향막 표면을 러빙하지 않는 너러빙액정 배향처리법이 요구되어 왔다. 또 최근의 화소의 미세화에 따른 액정의 배향 얼룩의 문제나, LCD의 시야각특성 개선을 위한 화소의 다분활화의 요구에서 더욱이 너러빙 액정배향기술의 개발의 필요성이 강하게 인식되어 광배향 제어기술을 이용한 액정배향기술이 주



(a) General Method



(b) In-situ Method

그림 1. 고분자 기판에서 일반적인 광배향법과 in-situ 새로운 광배향법을 이용한 광배향 액정셀의 편광 현미경 사진 (편광자는 직교상태).

목을 받고 있다. 광배향 제어기술에는 광이성화법, 광중합법, 광분해법 등의 3가지 방법이 알려져 있으며 이 방법들의 공통점은 조사광원으로 직선편광을 사용하며 랜덤하게 배향하고 있는 고분자들 주쇄 主鎖(Main Chain), 또는 말단기(Side Chain)를 편광방향에 향하고 있는 분자가 주로 광을 흡수하여 광반응을 일으켜 그 막에 광학 이방성이 발생시킨다. 따라서 액정의 광배향 제어기술에 필요한 조건은 직선편광 등의 방향성을 가진 광을 사용하는 것과, 고분자 재료로서는 고분자의 광반응 과정(광이성화, 광중합, 광분해)이 조사된 광의 편광방향과 그 고분자의 배향방향과의 내각에 의해서 제어된다[3-6].

그림1에 고분자 기판을 사용했을 때, 폴리이미드 표면에 일반적인 광배향법과 In-situ 광배향법으로 제작된 액정셀의 편광 현미경 사진을 나타내었다. 이때 폴리이미드 표면에 편광되지 않는 UV 조사각도는 45°이며, 1분간 UV 조사하였다. 그림에서와 같이 나타낸 바와 같이, 열을 가하면서 편광되지 않는 UV를 조사하는 In-situ 광배향법을 이용한 액정셀의 배향성은 폴리이미드 막을 1시간 소성후에 상온에서 편광되지 않는 UV를 조사한 경우보다 양호한 배향을 얻을 수 있었다. 결국, 고분자 기판에서의 액정 배향의 향상은 In-situ 광배향법을 이용하면 일반적인 광배향을 이용한 경우보다 액정 배향성을 향

상시킬 수 있었다.

그림2는 In-situ 광배향법을 이용 시 유리기판과 고분자 기판에서 편광되지 않는 UV 조사각도에 따른 액정셀의 프리틸트각의 발생을 나타내었다. 그림2에서와 같이 고분자 기판을 이용한 액정셀의 프리틸트 각이 유리 기판을 이용한 액정셀보다 높은 프리틸트각을 나타내었다. 또한 고분자 기판을 이용한 경우에는 UV 조사각도가 증가할수록 프리틸트 각이 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은, 그림3에서 보듯이 고분자 기판의 표면의 거칠기(Surface Roughness = 5 nm)가 유리(Surface Roughness = 1.1 ~ 1.3 nm)보다 크기 때문에 폴리이미드 막 표면에

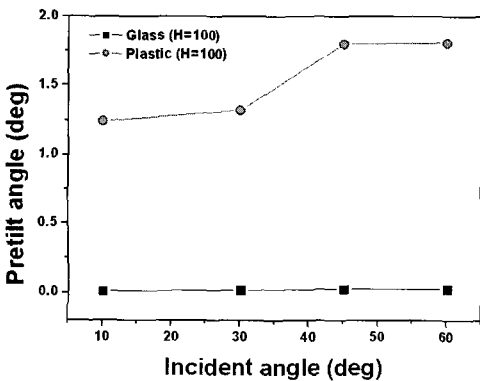
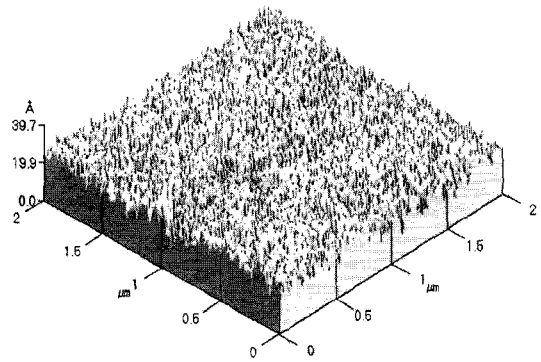
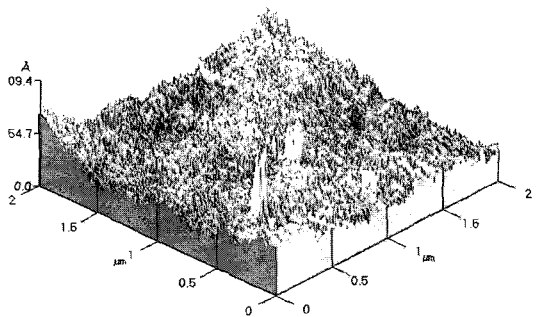


그림 2. In-situ 광배향법을 이용 시 유리기판과 고분자 기판에서 UV 조사각도에 따른 네마틱액정의 프리틸트각의 발생.



(a) Glass Substrate



(b) Polymer Substrate

그림 3. 두 종류의 기판을 이용한 폴리이미드 표면의 AFM 사진.

UV 조사로 인하여 Microgroove가 더 크게 형성되므로 더 높은 프리틸트가 발생한다고 생각할 수 있다.

그림4는 고분자 및 유리 기판을 이용한 경우 폴리이미드 표면에서의 TN셀의 전압-투과율 곡선을 나타내었다. 이 그림에서와 보는 바와 같이 유리기판과 고분자기판을 이용한 두 가지 종류의 TN셀 모두 Bounce가 없는 안정한 V-T 특성을 나타내었다. 그러나 고분자기판을 이용한 TN셀은 유리기판을 이용한 TN셀보다 다소 낮은 투과율 특성을 나타내었다.

### 5.3 Ion Beam 배향기술

무기 박막인 DLC(Diamond Like Carbon)와

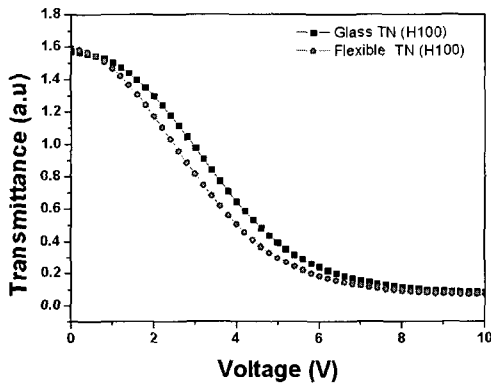


그림 4. 고분자 및 유리 기판을 이용한 경우 폴리이미드 표면에서의 TN셀의 전압-투과율 곡선.

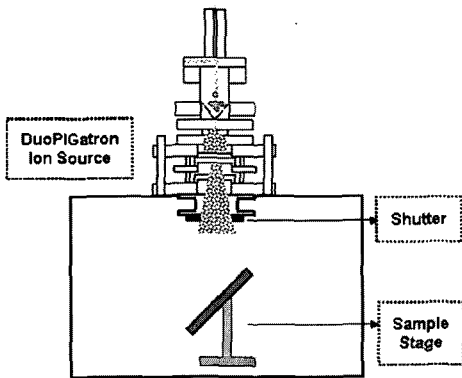


그림 5. Ion Beam 배향 장치.

IB(Ion Beam)을 이용한 너리빙 배향 방법이 알려져 있다[7, 8]. 배향막으로서 일반적으로 사용되고 있는 유기배향막인 폴리이미드 필름 대신 무기박막인 DLC를 배향막으로 사용하고, 배향방법도 기존의 러빙법 대신 이온입자에 의한 배향법을 사용한다(그림5).

이러한 DLC 박막은 일반적으로 보호층으로 알려져 있다. (예, 단단한 디스크드라이브의 디스크 표면) DLC 박막 형성 공정과 제조 장치는 대화면에서의 응용에 적합하다. LC배향에서 요구하는 필름 특성은 (1)투명성 (2)저항성 (3)고착성 그리고 (4)이온빔에 의한 불균형 표면의 형성 등이다. 투명도는 DLC 박막 두께와 수소물질 조절에 적용된다. 박막은 스퍼터링 또는 CVD방식에 의해 증착된다. DLC 박막의 투명도는 균등한 정도, 통상의 폴리이미드 필름과 동등하거나 더 좋은 특성을 얻는데 영향을 준다. 이는 DLC 박막의 두께를 3 ~ 15 nm로 사용하므로써 얻을 수 있다. DLC 박막의 저항성은 높아 디스플레이 응용에도 충분한 것으로 알려져 있다. 또한 Metal Mask방법에 의해 멀티도메인을 쉽게 적용될 수 있다. DLC 박막의 구성 즉, C/H비는 이온입자에 의한 LC배향을 충족시키는 넓은 영역을 가지고 있다. 최근에는 DLC박막에 질소를 첨가한 NDLC박막을 사용하여 특성을 향상시키는 방법이 연구되고

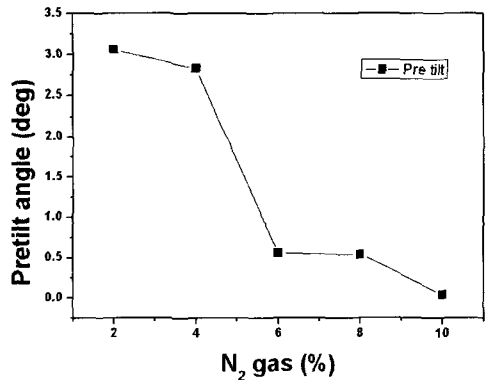


그림 6. 이온빔 배향한 NDLC 박막의 N2양에 따른 프리틸트각의 발생.

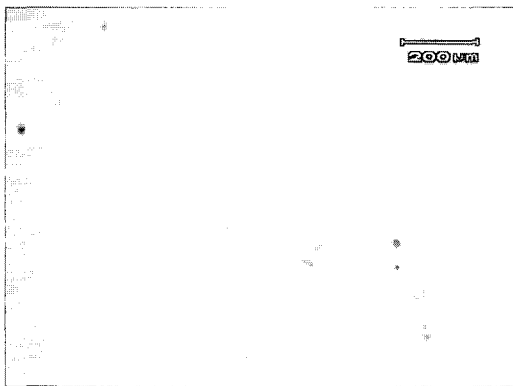
있다[8]. 그림6은 N2 Gas를 각각 다른 비율로 Sputter에서 7분간 증착된 NDLC 박막 표면에 이온빔을 45° 각도로 조사했을 때의 프리틸트 각의 변화를 나타내고 있다. NDLC 박막에서는 이온빔의 에너지와 조사시간의 변화가 모두 Ion Beam Bombardment 효과와 관련이 있다. 기존의 DLC와 비교했을 때, NDLC 박막을 액정의 배향막으로 사용한 경우 프리틸트 각을 약 3.3°까지 얻을 수 있었다. 따라서 NDLC 박막에 이온빔 배향법을 이용하면 프리틸트 제어가 가능함을 알 수 있고 이를 응용하여 고프리틸트각을 요구하는 TN모드에서부터 저프리틸트각을 요구하는 IPS모드에 이르기까지 광범

위하게 사용될 수 있음을 보여준다.

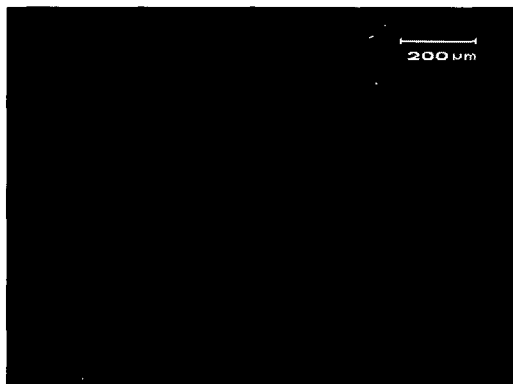
NDLC 박막 표면에 1분간 이온빔을 조사한 이온빔 배향 TN-LCD의 편광 현미경 사진을 그림7에 나타내었다. 그림7에 나타낸 바와 같이 1분간 이온빔 이 조사된 이온빔 배향 TN-LCD는 인가전압에 대한 on-off 특성이 매우 우수하였다.

그림8은 NDLC 박막을 배향막으로 이용해서 만든 TN 셀의 전압-투과도 특성을 나타낸 것으로 인가전압에 따라 급준하게 변하는 우수한 투과도 특성을 보여준다.

그림9는 NDLC 박막을 배향막으로 이용한 이온빔 처리된 TN 액정 셀의 전기용량-전압특성을 나타



(a) off-state



(B) on-state

그림 7. NDLC 박막의 이온빔 배향 TN-LCD의 편광 현미경 사진(편광자는 직교상태)

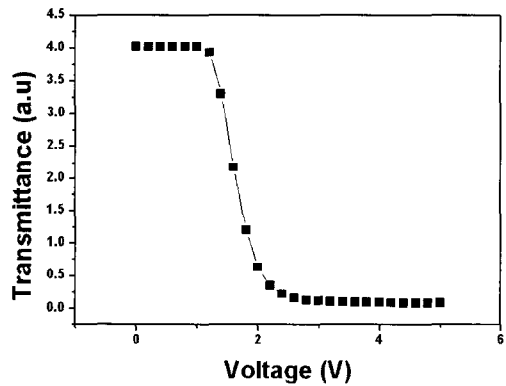


그림 8. NDLC 박막의 이온빔 배향 TN-LCD의 V-T 곡선.

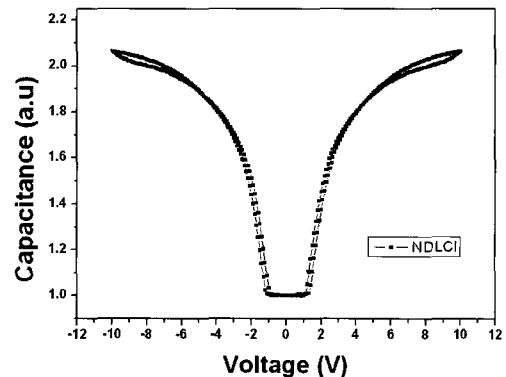


그림 9. NDLC 박막의 이온빔 배향 TN-LCD의 잔류 DC 특성.

낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 히스테리시스곡 선상의 차이가 아주 적어 잔류전하량이 거의 없는 우수한 특성을 보임을 알 수 있다. 즉 NDLC 박막을 사용했을 경우 잔상효과 측면에서 유리한 LCD를 구현할 수 있음을 알 수 있다.

## 6. Flexible LCD의 향후 전망

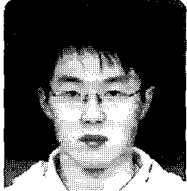
Flexilbe LCD는 휴대전화에 채용되어 그 용도는 확실히 확대되고 있다. 앞으로의 대화면화, 고정세화에 따라 플라스틱 필름 기판의 내열성의 향상, 습열 하에서의 치수안정성의 향상이 요구되고 있다. 또한 유리 기판에서는 당연히 행해지고 있는 계조표시, 컬러화는 플라스틱 필름 LCD에 있어서도 앞으로 필요해질 것으로 생각되며 기판의 표면평활성은 유리만큼 요구되어 나갈 것이다. 또한 고정세화에 의해 투명도전막의 저저항화는 불가피하다.

향후 플라스틱 필름 기판의 원가절감은 용도확대를 위해서도 중요하며 이를 위해서는 기판 제조공정에서 코팅공정의 간소화가 요구된다. Flexible LCD는 아직 발전하고 있는 기술이므로 향후 그 발전속도는 매우 가속화될 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] D.-S. Seo, K. Muroi, and S. Kobayashi, "Generation of pretilt angle in nematic liquid crystal, 5CB, media aligned polyimide films prepared by spin-coating and LB techniques : effect of rubbing", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol. 213, p. 223, 1992.
- [2] D.-S. Seo, N. Yoshida, S. Kobayashi, M. Nishikawa, and Y. Yabe, "Effects of conjugation of mesogenic core of nematic liquid crystals for polar anchoring energy and surface order parameter on rubbed polyimide films", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 33, No. 8B, p. L1174, 1994.
- [3] K. Ichimura, Y. Akita, H. Akiyama, K. Kudo, and Y. Hayashi "Photoreactivity of polymers with regioisomeric cinnamate side chains and their ability to regulate liquid crystal alignment" *Macromolecules*, Vol. 30, p. 903, 1997.
- [4] J.-Y. Hwang, D.-S. Seo, O. Kwon, and D. H. Suh, "Electro-optical characteristics of photo-aligned TN-LCD on PM4Ch surfaces", *Liq. Cryst.*, Vol. 27, No. 8, p. 1045, 2000.
- [5] D.-S. Seo and J.-Y. Hwang, "Liquid crystal aligning capabilities using a new photo-dimerization method onapoly(4'-methacryloyloxy chalcone) surface", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 39, No. 8A, p. L816, 2000.
- [6] M. Nishikawa, B. Taheri, and J. L. West, "Polyimide films designed to produce high pretilt angles with a single linearly polarized UV exposure", *SID 98*, p. 131, 1998.
- [7] J.-Y. Hwang, C.-J. Park, H.-J. Ahn, K.-C. Kim, H.-K. Baik, D.-S. Seo, "Alignment effect for nematic liquid crystal using a-C:H thin film as working gas at bias condition", *Ferroelectrics*, Vol. 304, p. 31, 2004.
- [8] C.-J. Park, J.-Y. Hwang, H.-K. Kang, H.-J. Ahn, J.-B. Kim, K.-C. Kim, H.-K. Baik, and D.-S. Seo, "Liquid crystal alignment effects and electro optical performances of twisted nematic-liquid crystal display using ion-beam alignment method on nitrogen doped diamond-like carbon thin film layer", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 3, p. 1352, 2005.

저|자|약|력



성 명 : 한진우

◆ 학 력

- 2004년 연세대 전기전자공학부  
공학사
- 2006년 연세대 대학원 전기전자  
공학과 공학석사
- 현 재 연세대 대학원 전기전자  
공학과 박사과정



성 명 : 황정연

◆ 학 력

- 1998년 송실대 물리학과 이학사
- 2000년 송실대 대학원 전기공학과  
공학석사
- 2005년 연세대 대학원 전기전자  
공학과 공학박사

◆ 경 력

· 현 재

Kent State Univ.,  
Post Doctor



성 명 : 서대식

◆ 학 력

- 1989년 Tokyo Univ. of  
Agri. and Tech.  
전자공학과 공학사
- 1991년 Tokyo Univ. of  
Agri. and Tech. 전  
자정보공학과 공학석사
- 1994년 Tokyo Univ. of  
Agri. and Tech.  
전자정보공학과 공학박사

◆ 경 력

- 1993년 - 1995년 일본학술진흥회 특별연구원
- 1994년 - 1995년 Kent State Univ. 액정연구소  
객원연구원
- 1995년 - 2000년 송실대 전기공학과 전임강사· 조교수
- 2000년 - 현 재 연세대 전기전자공학부 조교수, 부교수
- 2006년 - 현 재 (사)한국전기전자재료학회 차기회장

