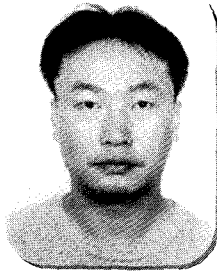


Flexible LCD : 배향기술



· 황정연 ·
연세대 대학원
전기전자공학과 박사과정



· 김종환 ·
연세대 대학원
전기전자공학과 석사과정



· 이상국 ·
광운대 대학원
전기공학과 박사과정



· 서대식 ·
연세대
전기전자공학과 부교수

1. 서론

1973년 전자계산기의 표시장치로서 상품화된 LCD(Liquid crystal display)는 오늘날에 이르기까지 액정 배향기술, 액정재료, 구동기술, 박막트랜지스터 형성 기술, 컬러필터, 전극재료 등의 주변 기술, 생산제조 기술 등에 주력해 왔다. 그 결과 저소비 전력, 고화질, 평판, 경량 등의 특징을 살려 지금까지의 브라운관로서는 만들 수 없었던 전자수첩, 펜입력 컴퓨터 등의 휴대용 정보단말기를 또는 PDA, 노트북 PC, 워크스테이션등의 OA용 흑백 및 컬러 LCD를, 휴대용 TV, 벽걸이 TV 등의 AV용의 컬러LCD등이 상품화되고 있다.

LCD는 고도의 정보화 사회에 필수적인 역할을 담당하며, 시장 규모의 확대도 확실시 된다. 특히 개인용 노트북 PC의 시장 점유율은 거의 100%이다. 또한 LCD 모니터 시장은 2001년부터 향후 6년간 연평균 40%의 가파른 성장률로 호황을 누릴 것으로 전망되며, 전체 모니터 시장에서 LCD의 점유율도 매년 약 31%의 증가율을 보일 것으로 예상된다. LCD 모니터는 판매 금액면에서도 2001년 66억달러에서 2007년 \$244억달러로 증가하여 연평균 24.3%의 성장률을 기록할 것으로 예상된다. Desktop과 Workstation용

모니터는 2007년에 1억4330만대에 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-News-paper등에 사용되어 향후 차세대 display 시장에서 큰 역할을 할 것으로 예상된다. 그래서, 본 해설에서는 이러한 flexible LCD의 액정 배향 기술, 측정에 관해서 설명한다.

2. Flexible LCD

Flexible LCD는 기판을 유리 대신 고분자 필름(플라스틱)으로 대체하는 디스플레이를 말한다. 고분자 기판은 유리기판에 비해 두께가 절반, 무게는 3분의 1이다. 또한 유리보다 외부 충격에 강하고, 기판 자체가 광학 특성을 갖추고 있기 때문에 유리에 부착되는 광학 필름이 필요 없다. 고분자 기판은 합성 수지를 박막 상태로 평면 가공한 것으로 두께는 200 마이크로미터까지 최소화할 수 있다. 휴대전화의 2인치형 LCD용 기판에 비하면 무게는 유리의 10g에 대하여 3g이다. 이러한 flexible LCD는 기존 LCD의 유리기판을 0.2mm 정도 두께의 얇은 고분자 필름으

로 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 형성 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 제조 비용이 유리보다 높다는 문제점을 가지고 있다

3. Flexible LCD의 문제점

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 해야 하는 단점을 가지고 있다.

첫 번째로 고분자 기판이 열적으로 불안정하여 저온 공정이 필요하다는 점이다. 이것은 기존의 TFT-LCD 공정에 견딜수 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 문제이다.

4. Flexible LCD의 액정배향 기술

연구용 또는 실용적으로 쓰이는 LCD소자는 일반적으로 샌드위치형으로 그 안에 주입되어 봉합된 액

정은 기판의 표면 처리법에 의하여 일정한 방향으로 균일하게 배향된다. 예를 들면, TN LCD와 STN LCD 등이다.

(a) 고분자막의 러빙법

고분자막의 표면 위를 형질등으로 일정한 방향으로 문지름으로서(러빙법) 고분자를 재배열시켜서 러빙방향으로 액정분자를 배향시켜준다. 이 러빙법은 간편하고 배향이 안정 하여 산업 현장에 있어서 가장 많이 사용되고 있다. 이 방법에는 폴리이미드막이 가장 많이 사용되고 있다. 러빙의 강약을 나타내는 러빙강도(Rubbing Strength)는 본 연구자에 의하여 다음과 같이 정의되었다[1, 2].

$$RS = NM \left(\frac{2\pi r n}{V} - 1 \right)$$

여기서, N은 러빙한 회수(여기서는 N=1로), M은 섬유 기판과의 접촉 거리, n은 러빙롤러의 회전수(1000/60S), 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 W는 $W = a.RS$ 를 변화시켜 줌으로서 실제의 일 W를 변화시킬 수 있다.

(b) 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 제조공정이 증가하는 등의 문제가 있어서 이전부터 배향막 표면을 러빙하지 않는 너러빙액정 배향처리법이 요구되어왔다. 또 최근의 화소의 미세화에 따른 액정의 배향 얼룩의 문제나, LCD의 시야각특성 개선을 위한 화소의 다분활화의 요구에서 더욱이 너러빙액정배향기술의 개발의 필요성이 강하게 인식되어

광배향 제어기술을 이용한 액정배향기술이 주목을 받고 있다. 광배향 제어기술에는 광이성화법, 광중합법, 광분해법 등의 3가지 방법이 알려져 있으며 이 방법들의 공통점은 조사광원으로 직선편광을 사용하며 랜덤하게 배향하고 있는 고분자들 주쇄 主鏈 (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(光異性化, 光重合, 光分解)이 조사된 광의 편광방향과 그 고분자의 배향방향과의 내각에 의해서 제어된다[3-6].

(c) Diamond like carbon(DLC)박막과 Ion beam(IB) 배향 기술

무기 박막인 DLC(Diamond like carbon)와 IB(Ion beam)을 이용한 러빙 배향 방법으로 2001년 IBM에 의해 개발되었다[7]. 배향막으로서 일반적으로 사용되고 있는 유기배향막인 폴리이미드(polyimide) 필름 대신 무기박막인 DLC를 배향막으로 사용하고, 배향방법도 기존의 러빙법 대신 이온입자에 의한 배향법을 사용한다(그림 1).

이러한 DLC 박막은 일반적으로 보호층으로 알려져 있다.(예, 단단한 디스크드라이브의 디스크 표면) DLC 박막 형성 공정과 제조장치는 대화면에서의 응용에 적합하다. LC배향에서 요구하는 필름 특성은 1) 투명성 2) 저항성 3) 고착성 그리고 4) IB에 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 3~15nm로 사용하므로써 얻을 수 있다. DLC 박막의 저항성은 높아 디스플레이 응용에도 충분한 것으로 알려져 있다. DLC와 SiNx, DLC와 컬러필터(폴리머 코팅) 사이의 고착력은 충분하다. 또한 Metal mask방법에 의해 멀티도메인을 쉽게 적용될 수 있다. DLC 박막의 구성 즉, C/H비는 이온입자에 의한 LC배향을 충족시키는 넓은 영역을

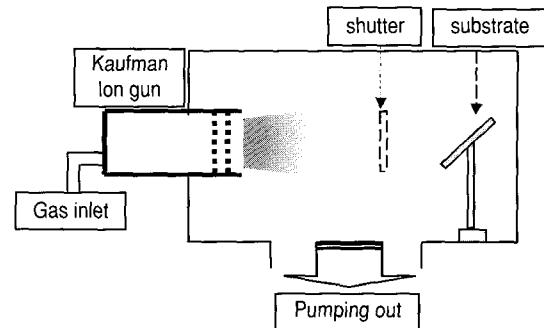


그림 1. DLC 표면을 이용한 IB 배향의 원리.

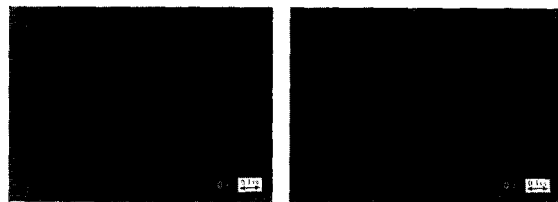
가지고 있다. DLC필름은 IB 이용한 액정의 배향에 가장 좋은 방법 중 한 가지이다.

5. Flexible LCD의 액정배향특성

본 개발에서는 flexible LCD의 배향효과를 검토하기 위하여 polycarbonate(PC)인 고분자 기판을 사용하였다. 또한 일본 Nissan Chemical Industries의 수평 폴리이미드를 사용하였다.

그림 2에 고분자 기판과 유리기판을 이용한 폴리이미드 표면에서의 러빙에 의한 네마틱 액정셀의 편광 현미경 사진을 나타내었다. 그림 3에 나타낸바와 같이, 고분자 기판을 사용한 것과 유리기판을 사용한 경우 모두 우수한 배향상태를 나타내었다.

그림 3은 고분자 및 유리기판을 이용한 경우 폴리이미드 표면에서의 러빙에 의한 네마틱 액정의 프리틸트각을 나타낸다. 그림 3에서와 같이 유리기판을 이용한 경우 폴리이미드 표면에서의 러빙에 의한 네



(a) polymer substrate (b) glass substrate
그림 2. 2종류의 기판을 이용한 러빙 배향 액정셀의 편광 현미경 사진(편광자는 직교상태).

마틱 액정의 프리틸트각은 러빙강도에 관계없이 약 1.7°을 나타내었다. 그러나 고분자 기판을 이용한 경우에는 러빙강도가 74ms일 때 약 3°를 나타내었으며, 러빙강도가 증가할수록 프리틸트각이 감소하는 경향을 나타내었다. 즉 고분자 기판을 이용한 경우가 유리기판을 이용한 경우보다 높은 프리틸트를 나타내었다. 그 이유는 고분자 기판의 표면의 거칠기 (surface roughness=5nm)가 유리(surface roughness=11~13 Å)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 4에 유리기판을 이용한 경우, 120°C~250°C에

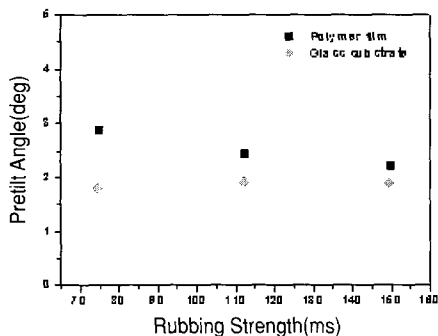


그림 3. 두가지 종류의 기판을 이용한 폴리이미드 표면에서의 러빙강도에 따른 네마틱액정의 틸트각.

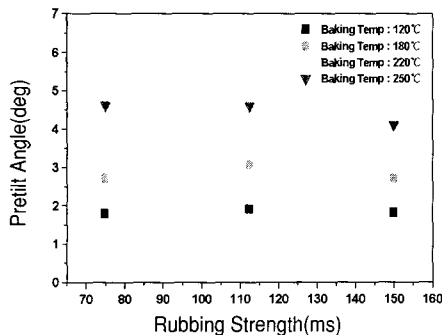


그림 4. 유리기판을 이용하여 폴리이미드 표면에서의 소성 온도에 따른 네마틱 액정의 프리틸트각의 발생.

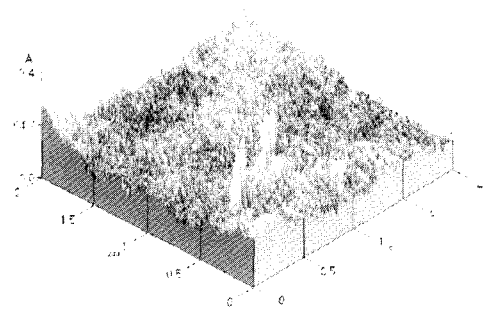
서 소성한 폴리이미드 표면에서의 러빙에 의한 네마틱의 액정의 프리틸트각을 나타내었다. 그림 4에서와 같이, 소성온도가 증가할수록 러빙에 의한 네마틱 액정의 프리틸트각은 증가하는 경향을 나타내었으며, 소성온도가 220~250°C에서는 프리틸트각이 약 5도를 나타내었다. 이것은 낮은 소성온도에서는 폴리이미드의 이미드화율이 낮기 때문에 낮은 틸트를 나타내고, 소성온도가 증가함에 따라 폴리이미드의 이미드화율도 증가하기 때문에 액정의 프리틸트각도 증가함을 알 수 있었다. 결국, 폴리이미드의 분자구조의 형성이 액정의 프리틸트각 발생에 영향을 주는 것으로 생각할 수 있다.

그림 5에 두종류의 기판을 이용한 폴리이미드 표면의 AFM 사진을 나타내었다. 그림 5(a)는 폴리머 필름을 이용한 폴리이미드 표면의 AFM 사진을 나타내었다. 그림에서와 같이, 폴리이미드를 120°C에서 소성한 러빙전 폴리머 필름의 표면 거칠기가 매우 큼을 알 수 있으며, 러빙한 폴리머의 표면에 micro-groove 구조가 명확히 형성됨을 알 수 있었다.

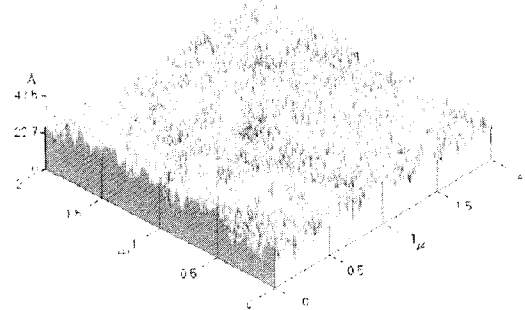
그림 5(b)는 유리기판을 이용한 폴리이미드 표면의 AFM 사진을 나타내었다. 그림 5(b)에서와 같이, 120°C에서 소성한 러빙전 폴리이미드 표면은 폴리머 필름을 이용한 경우보다 표면 거칠기가 적음을 알 수 있었다. 또한, 러빙된 폴리이미드 표면에서는 micro-groove 구조가 형성되지 않았음을 알 수 있었다. 이러한 결과를 통해서, 배향막 표면 거칠기가 프리틸트각 형성에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

6. Flexible LCD의 향후 전망

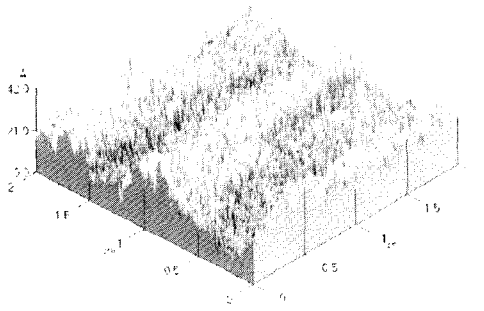
Flexilbe LCD은 최근에는 휴대전화에 채용되어 그 용도는 확실히 확대되고 있다. 앞으로의 대화면화, 고정세화에 따라 플라스틱 필름 기판의 내열성의 향상, 습열 하에서의 치수안정성의 향상이 요구되고 있다. 또한 유리기판에서는 당연히 행해지고 있는 제조표시, 컬러화는 플라스틱 필름 액정 디스플레이에 있어서도 앞으로 필요해질 것으로 생각되며 기판의 표면평활성은 유리만큼 요구되어 나갈 것이다. 또한 고정세화에 의해 투명도전막의 저저항화는 불가피하다.



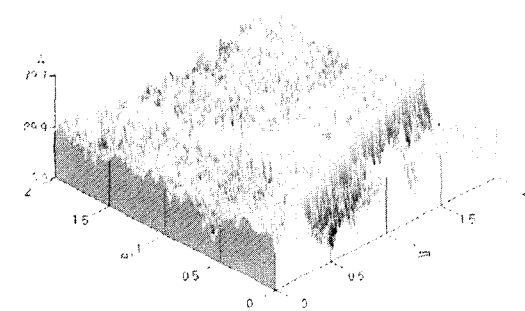
러빙전 폴리이미드 표면



러빙전 폴리이미드 표면



러빙후 폴리이미드 표면



러빙후 폴리이미드 표면

(a) 폴리머 필름을 이용한 폴리머 표면의 AFM 이미지

(b) 유리 기판을 이용한 폴리머 표면의 AFM 이미지

그림 5. 두종류의 기판을 이용한 폴리이미드 표면의 AFM 이미지.

앞으로 플라스틱 필름 기판의 원가절감은 용도확대를 위해서도 주요한 과제이다. 이를 위해서는 기판 제조공정에서 코팅공정을 간소화하지 않으면 안되며, 또한 투명도전막 가공공정에 있어서도 그 제작속도가 대단히 느려 그것이 원가상승의 하나의 요인이 되므로 생산성을 높이는 것이 중요하다. 플라스틱 필름 기판은 아직 발전하고 있는 기술이므로 그 개량, 개선에 있어서는 많은 여지가 남아 있는 것이 사실이다.

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.

성명: 서대식

❖ 학력

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

❖ 경력

- 1993년-1995년 일본학술진흥회 특별연구원
- 1994년-1995년 Kent State Univ. 액정연구소 객원연구원
- 1995년-2000년 송실대 전기공학과 전임강사· 조교수
- 2000년-현재 연세대 전기전자공학과 부교수
- 2002년-현재 한국과학기술한림원 준회원

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명: 황정연

❖ 학력

- 1998년 송실대 물리학과 이학사
- 2000년 송실대 대학원 전기공학과 공학석사
- 2002년-현재 연세대 대학원 전기전자공학과 박사과정

성명: 김종환

❖ 학력

- 1994년 부산대 전자공학과 공학사
- 현재 연세대 대학원 전기전자공학과 석사과정

❖ 경력

- 1994년-현재 삼성 SDI LCD 개발기술팀

성명: 이상극

❖ 학력

- 1998년 광운대 전기공학과 공학사
- 2000년 광운대 대학원 전기공학과 공학석사
- 2001년-현재 광운대 대학원 전기공학과 박사과정

