

Special

Thema

차세대 Flexible 액정표시 소자용 배향기술 동향

한정민 박사과정
(연세대 전기전자공학과)
오병윤 박사과정
(연세대 전기전자공학과)
한진우 박사과정
(연세대 전기전자공학과)
김영환 박사과정
(연세대 전기전자공학과)
서대식 교수
(연세대 전기전자공학부)

1. 서론

Flexible 디스플레이 시장은 e-paper 기술 중심의 다양한 신규 어플리케이션 시장과 기존에 존재하는 시장 등 2개의 큰 시장영역에서 성장해 나아갈 것이라 판단되어 진다[1]. 2011년부터는 3인치급 이하의 LCD와 OLED기반의 Flexible 디스플레이를 채용한 모바일 폰 등이 등장하고, 2013년에는 4인치에서 9인치 급의 OLED기반의 모바일폰 이외의 다양한 어플리케이션에도 Flexible 디스플레이가 채용될 것으로 예측되어 진다.

그림 1에서 보는 바와 같이 Flexible 디스플레이 시장은 2010년 약 2.8억 불에서, 2015년 약 59억불, 2017년 약 122억불의 시장을 형성할 것으로 판단되고, 신개념의 노트북, 모니터, TV 또는 이러한 기능들을 통합한 새로운 개념의 디자인과 기능을 가진 디스플레이 어플리케이션이 등장할 것으로 예측되고 있다. 본 기술해설에서는 이러한 Flexible 디스플레이 중 LCD의 액정 배향 요소 기술에 관해서 설명하고자 한다.

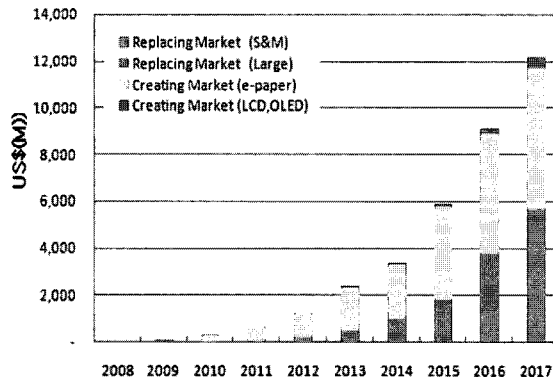


그림 1. Flexible Display Market-수요전망.

2. Flexible LCD의 장·단점

Flexible LCD는 기판을 유리 대신 고분자 필름(플라스틱)으로 대체하는 액정 디스플레이를 의미한다. 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 필요 없다. 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 스마트폰이나 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.

표 1. Plastic 기판의 종류 및 장·단점.

| 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) |

또한, 고분자 기판은 제조비용이 유리보다 높다는 문제점을 가지고 있다. 표 1은 Plastic 기판의 종류 및 장단점을 나타낸다.

3. Flexible LCD의 과제

Flexible LCD는 앞에서 열거한 많은 장점에도 불구하고 아직 일반적인 Display로 대처가 어려운 이유는 Flexible LCD의 기판으로 사용되는 고분자 기판의 가격이 고가이고, 또한 이러한 고분자 기판이 열적으로 불안정하며, 기판의 경도가 높은 유리 기판과 달리 기판이 유연하여 모든 공정을 새로운 방식으로 적용되어야 하는 단점이 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

삼성전자는 2005년 1월 투명 플라스틱 기판에 a-Si 기술을 적용한 투과형 5인치 플라스틱 TFT-LCD 기술을 구현하였고 이어 11월에는 세계최대크기인 VGA급 7인치 패널을 발표하였다.

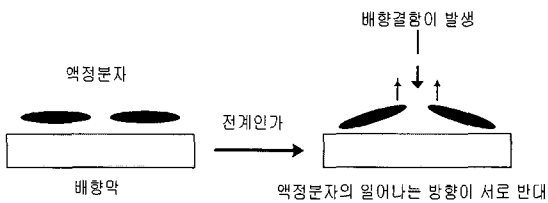
삼성전자는 지속적인 연구개발을 통해 이 기술을 휴대폰, 노트북 등 모바일 제품에 적용, 2~3년 후에는 본격적인 제품 양산이 가능하도록 한다는 계획이며 이와 함께 헬멧이나 안경처럼 착용할 수 있는 '입는 디스플레이', 목걸이용 액세서리로 활용할 수 있는 '패션 디스플레이' 등 새로운 사업영역을 창출해 나간다는 방침이다.

Fujitsu는 2005년 7월 폴레스테릭 액정을 사용하

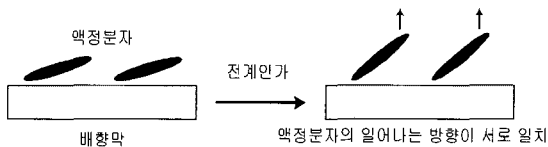
여 전압미인가시에도 화면을 표시할 수 있는 3.8인치 플라스틱 LCD 패널을 발표하였고, 2~3년 내에 상용화 시킨다는 계획이다. Philips는 PDA용 320 × 240 5인치 흑백 LCD패널을 개발하여 시제품을 출시하였다.

5. Flexible LCD의 액정배향 및 Pretilt각도

LCD는 두 장의 기판 사이에 일정한 방향으로 액



(a)



(b)

그림 2. 프리틸트각의 중요성(프리틸트각이 0°인 경우 전계 인가시 액정의 동작 방향이 일정하지 않아 광 누설의 결함 발생).

정분자들이 배열되어야 원하는 광학특성을 얻을 수 있다. 이렇게 일정한 방향으로 액정분자를 늘어서게 하는 것을 액정배향이라고 한다. 그림 2에서 나타낸 바와 같이 서로 반대 방향으로 액정 분자가 정렬할 경우, 전계 인가 시에 액정분자의 일어서는 방향의 차이가 생기게 때문에 그 사이에서 원하지 않는 광의 누설이 생기게 된다. 또한, 액정의 기판표면에서 액정분자가 기울어져 있는 초기 각도를 Pretilt라고 하고, 배향의 방법 및 배향막 등의 요인에 의해 그 각도가 결정되어진다.

6. Flexible LCD의 액정 배향의 종류

액정의 배향법에는 기계적인 마찰에 의한 배향법(러빙법)과, 기계적인 마찰이 없는 광 및 이온빔 배향법등이 있다.

6.1 고분자막의 러빙법

배향막으로 사용하고 있는 고분자막의 폴리머에 섬유질 등으로 문지르는 기계적인 마찰에 의해서 고분자가 재배열 되는 것을 원리로 하는 배향법으로, 러빙법은 배향처리가 간단하고, 배향이 안정하며, 대량생산에 적합하여 현재까지 거의 모든 LC 제조 공정에서 이용되고 있다[2,3]. 러빙처리에 알맞은 배향막의 재료로는 비교적 고가의 유기고분자막인 폴리이미드막이 가장 널리 사용되고 있다. 하지만, 러빙 처리법은 기판 표면과 러빙 롤러의 섬유질이 직접적으로 마찰하는 기계적인 방법에 의존하고 있기 때문에 러빙 시에 섬유질로부터 발생되는 이물이나 먼지 등의 발생 우려가 있으며, 마찰에 의한 정전기의 발생이 LCD소자의 표시품질을 저하하고 제조 수율을 감소시키는 원인으로 작용하고 있다.

6.2 광배향법

러빙법에 의한 배향의 문제점 등을 보완하고자 이전부터 배향막 표면을 러빙하지 않는 너러빙액정 배향처리법이 요구되어왔다. 또한, 화소의 미세화에 따른 액정의 배향 얼룩의 문제와 LCD의 시야각특성 개선을 위한 화소의 다분활화의 요구에서 더욱이

러빙 액정배향기술의 개발의 필요성이 강하게 인식되어 광배향 제어기술을 이용한 액정배향기술이 주목을 받고 있다.

광배향 제어기술에는 광이성화법, 광중합법[4-6], 광분해법[7,8] 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(광이성화, 광중합, 광분해)이 조사된 광의 편광방향과 그 고분자의 배향방향과의 내각에 의해서 제어된다.

6.3 Ion Beam 배향 기술

광배향과 같은 러빙 방식으로, 플라즈마 형성에 의한 이온입자로 배향에 적용하는 기술이다. 이때의 배향 여부는 이온빔의 세기(100 eV ~ 3000 eV)와 조사 시간 및 기판과 이온빔의 조사 각도에 의존한다. 이온빔 배향 장비는 그림 3에 나타내었다.

현재 TFT-LCD에서 TFT소자 생성 후 기판의 평판화를 위해 사용되는 유기절연막(Overcoat)을 배향막으로 사용한 결과[9]와 TFT-LCD의 절연층으로 사용되고 있는 SiO_x 무기 박막의 측정 결과를 위주

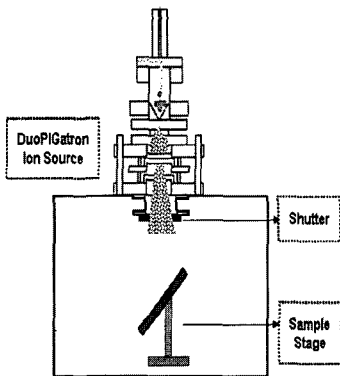
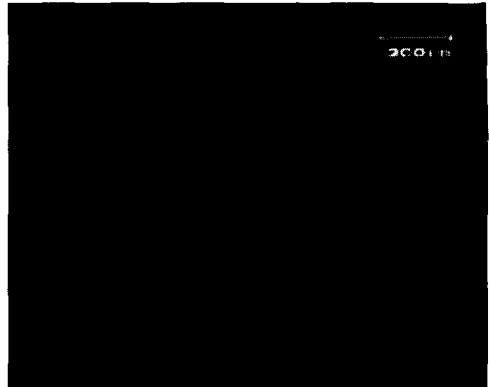
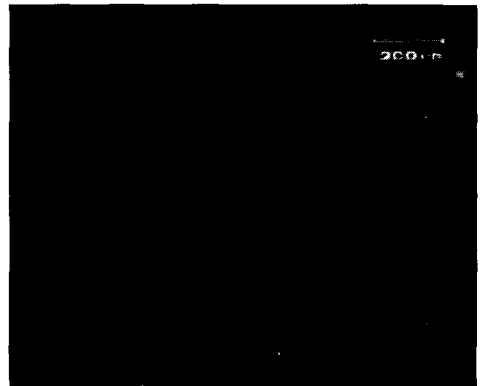


그림 3. Ion Beam 배향 장치.



(a) PI 배향막



(b) Overcoat 배향막

그림 4. PI와 Overcoat 표면에서의 네마틱 액정의 배향 특성.

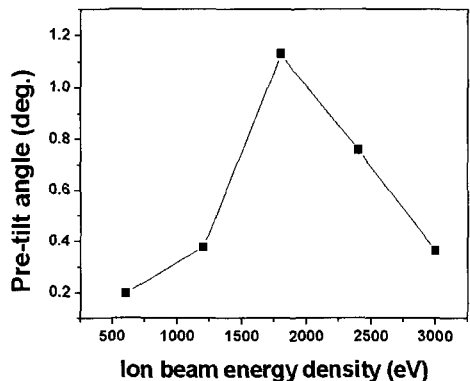


그림 5. Overcoat 배향막 표면에서의 이온빔 세기에 따른 프리틸트각 발생.

로 구체적으로 설명 하고자 한다. 먼저, 일반적으로 사용되고 있는 배향막 재료인 폴리이미드 PI와 Overcoat를 배향막으로 사용 하였을 때의 네마틱 액정의 배향 사진을 그림 4에 나타낸다. 편광판은 직교 상태로 균일한 액정배향 특성을 얻을 수 있었다. 그리고 이온빔의 조사 각도를 60°로 고정하고 이온빔의 세기별 프리틸트각도의 의존성을 그림5에 나타내었다. 이온빔의 에너지 밀도가 1800 eV에서 가장 큰 Pretilt각을 구현하였다.

그림 6은 Overcoat 박막을 배향막으로 사용 하여 만든 TN 셀의 전압-투과도 특성을 나타낸 것으로 인가 전압에 따라 급격하게 변하는 우수한 투과도 특성을 보여준다.

또한, 그림 7에서 보는바와 같이 수직액정을 사용한 무기박막의 (SiO_x 박막) 배향특성을 나타내었다. 2장의 편광자는 직교상태로 전압을 인가하지 않을 경우 흑인 상태가 균일한 배향을 나타낸다. 이때 사용한 네마틱 액정은 MJ98468이며, 우수한 배향특성을 구현 할 수 있었다. 그림 8에 나타 낸 바와 같이, 3종류의 이온빔 세기에 있어서 89° 정도의 프리틸트 각도를 가지는 것을 확인 하였다[10].

7. Flexible LCD의 향후 전망

LCD에는 투과형, 반투과형 그리고 반사형이 있으며, 이중 Back Light가 불필요한 반사형의 Flexible LCD의 상용화는 문제가 없겠으나, 기타 Back Light가 적용되는 투과형과 반투과형의 경우 Back Light의 Flexible이 가능하도록 하는 획기적인 개발성과 없이는 Flexible LCD의 적용이 쉽지 않을 것으로 전망된다. 또한, 향후 플라스틱 필름 기관의 원가절감은 용도확대를 위해서도 중요하며 이를 위해서는 기관 제조공정에서 코팅공정의 간소화가 요구된다. Flexible LCD는 아직 발전하고 있는 기술이므로 향후 그 발전 속도는 매우 가속화 될 것으로 기대된다.

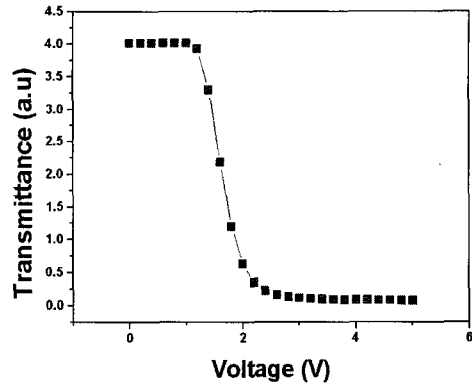


그림 6. Overcoat 박막 표면을 이용한 이온빔 배향 TN-LCD의 V-T곡선.



그림 7. SiO_x 표면에 이온빔을 조사한 경우의 네마틱 액정의 배향 특성(편광자는 직교).

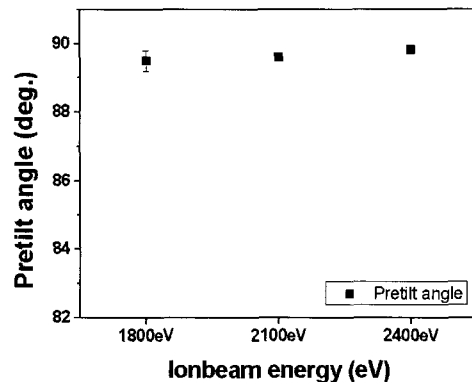


그림 8. SiO_x 박막표면에서의 이온빔 세기에 따른 네마틱 액정의 프리틸트 각도 의존성.



참고 문헌

[1] sarah@displaybank.com
 [2] 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.
 [3] 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.
 [4] 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.
 [5] 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.
 [6] 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.
 [7] 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.
 [8] D.-S. Seo. and J-M. Han "Generation of pretilt angle in NLC and EO characteristics of photo-aligned TN-LCD with oblique non-polarized UV light irradiation on polyimide surface", Liquid Crystals, Vol. 26 (No. 7), pp959 ~ 964 (1999).
 [9] J-M. Han and D.-S. Seo. "Liquid crystal aligning capabilities treated on organic overcoat thin film by ion beam irradiation method", Transactions on Electrical and Electronic Materials 2007 , Vol. 20, No. 3, p245 ~ 249
 [10] S-H. Choi and D.-S. Seo. "Liquid crystal alignment and electrooptical characteristics of vertical alignment liquid crystal display on SiOx thin film obliquely deposited by sputtering",

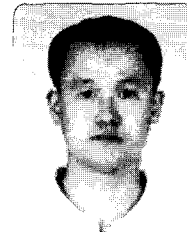
Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45 (No. 48), ppL1280-L1282 (2006)

저자약력



성명 : 한정민

- ◆ 학력
- 1997년
숭실대 전기공학과 공학사
- 1999년
숭실대 대학원 전기공학과 공학석사
- 2004년 - 현재
연세대 대학원 전기전자공학과 박사과정



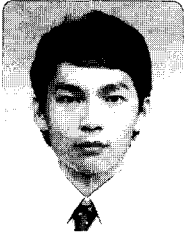
성명 : 오병운

- ◆ 학력
- 2004년
한세대 물리학과 공학사
- 2006년
연세대 대학원 금속공학과 공학석사
- 2007년 - 현재
연세대 대학원 전기전자공학과 박사과정



성명 : 한진우

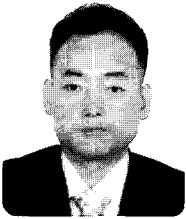
- ◆ 학력
- 2004년
연세대 전기전자공학부 공학사
- 2006년
연세대 대학원 전기전자공학과 공학석사
- 2006년 - 현재
연세대 대학원 전기전자공학과 박사과정



성명 : 김영환

◆ 학력

- 2004년
동아대 전기·전자·컴퓨터공학과 공학사
- 2007년
연세대 대학원 전기전자공학과 공학석사
- 2007년 - 현재
연세대 대학원 전기전자공학과 박사과정



성명 : 서대식

◆ 학력

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

◆ 경력

- 1993년 - 1995년
일본학술진흥회 특별연구원
- 1994년 - 1995년
Kent State Univ. 액정연구소 객원연구원
- 1995년 - 2000년
숭실대 전기공학과 전임강사, 조교수
- 2000년 - 현재
연세대 전기전자공학부 조교수, 부교수
- 2002년 - 현재
한국과학기술한림원 준회원
- 2007년 - 현재
(사)한국전기전자재료학회 회장

