LCD의 액정배향 및 광시야각 기술의 개발현황

서대식
숭실대학교 전기공학과 조교수.
1997년 제1회 젊은과학자상 수상.
본 학회 편수위원.

이승희
LCD연구소 선임연구원.
1997년 제4회 International Display Workshop "Outstanding Poster Paper Award" 수상.
현대전자 발명왕상 수상.

1. 서 론

최근, 정보통신 시대를 맞이하여 인간과 컴퓨터기기와의 인터페이스로서 정보전달의 역할을 담당하는 정보디스플레이소자는 매우 중요한 위치를 차지하게 되었다. 정보디스플레이소자중에서도 액정 디스플레이 (LCD ; Liquid Crystal Display) 소자는 1973년 전자계산기의 표시소자로 처음으로 상품화되어 오늘날에 이르기까지 약 25년간 액정배향기술, 액정재료, 구동기술, 박막트랜지스터 형성 기술, 칼라필터, 전극재료 등의 주변기술, 생산제조 기술 등의 개발로 인하여 고성능 도트매트릭스 구동이 가능하여 현재 정보표시소자로서 많이 사용되고 있다. LCD는 저소비 전력, 고화질, 평판, 경량 등의 특징을 살려 지금까지의 CRT로서는 만들 수 없었던 전자수첩, 펜입력컴퓨터 등의 휴대용의 정보 단말기를, 또는 워드프로세서, 노트북PC, 워크스테이션 등의 OA용의 흑백 및 컬러 LCD를, 휴대용TV, 벽걸이 TV 등의 AV용의 컬러 LCD 등이 상품화되고 있다. LCD소자는 고도정보화 사회에 필수적인 역할을 담당하며 시장 규모의 확대도 확실시되며 2000년대에는 약 20조원 이상이 될 것으로 기대된다. 이러한 LCD 시장을 보다 확실하게 하기 위해서는 표시 성능 향상을 위한 기술개발이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 고성능 LCD 소자의 개발에 필요한 표면 액정배향기술 및 광시야각 기술개발의 최신현황과 차세대의 LCD 소자에 있어서 필요한 요소 기술에 대하여 해설한다.

2. LCD의 원리 및 액정배향기술

2-1 액정

액정은 서모트로픽 과 라이오트로픽 액정으로 나뉘어지며, 전자는 온도의 증가에 의하여 고체→액정→액체로 상태가 변화하는 특성을 가지며, 후자는 물 등을 가함으로써 상태가 변화하는 특성을 가지고 있다. 서모트로픽 액정은 1888년 오스트리아의 식물학자 F. Reinitzer에 의해 발견되었으며, 현재 사용되고 있는 LCD 소자에는 이 종류의 액정이 사용된다. 액정은 분자의 길이가 약 30~50 Å정도의 가늘고 긴 유기화합물로 저온에서는 고체, 고온에서는 등방(Isotropic) 상태의 액체이나 그 중간의 온도 영역에서는 빛의 굴절률 등의 물리적 성질인 광학적 이방성을 나타내는 액정 상태를 나타낸다. 즉, 액정이란 고체도, 액체도 아닌 3차원적인 상태를 말하며 이방성 액체라고도 불린다. 액정에는 네마틱 액정, 콜레스테릭 액정, 스매틱 액정으로 분류된다.

LCD 소자는 액정재료가 가지는 분자의 장축, 단축에 있어서 유전율, 굴절율 값이 다른 이방성등의 성질을 이용하여 전장이나 열 등의 의해 복굴절 값을 변화시키는 광학효과를 이용하고 있다. 광학효과는 간섭, 선광, 산란, 흡수 등이 있다. 또, 문자나 화상을 표시하는 LCD소자는 일반적으로 X-Y 메트릭스 전극을 가진 2장의 유리기판에 액정을 샌드위치된 구성으로 되어 있고, 그 구동방식에 의하여 단순 매트릭스 구동 LCD와 능동 매트릭스 구동 LCD로 구별된다. 일반적으로 LCD에는 TN

(twisted nematic)-LCD[1]방식이 사용되며 이 방식은 2장의 유리기판으로 형성되어 있고 각각 러빙 방향이 90° 어긋나도록 함으로써 액정분자 배열이 상하판에 상대적으로 90° 비틀어지도록 한다. 그리고 2장의 편광판을 러빙 방향에 맞추고 직교 상태로 한다. 네마틱 액정분자는 빛을 통과시키는 성질을 가지고 있으므로 전압이 0(V)일 때 한 장의 편광판을 입사한 직선 편광은 액정분자를 따라 전반되어 진동 방향이 90° 회전하여 또 한 장의 편광판을 통과하여 밝은 표시를 나타내며, 전압이 임계전압(V_{th}) 이상일 때 액정분자는 전계 방향으로 배열을 하게 되고 편광판을 통과한 선편광의 진동방향이 변하지 않아 상판 편광판에 의해 빛이 차단되어 어두운 표시를 나타낸다. 이 방식을 "normally white" 방식이라 하며, 일반적으로 LCD에서는 이방식 많이 사용되고 있다. TFT (thin-film-transister)-LCD 구동방식은 TN-LCD 방식에 각 화소마다 스위칭소자를 만들어 구동시키는 방법이다. LCD에는 TN-LCD 방식 외에 S(super) TN-LCD 방식, ECB (electrically controlled birefringence) 방식, N-Ch (cholesteric) 상전이방식, FLCD (ferroelectric liquid crystal display) 방식, PDLC (polymer dispersion liquid crystal) 방식 등이 있다. 모든 LCD 소자의 제작에 있어서 표면액정배향 기술 즉, 액정분자를 일정한 방향으로 균일하게 배열시키는 기술이 많이 사용되고있으며 이 기술은 LCD 소자의 특성을 이해하는데 있어서 중요한 역할을 하고 있다.

2-2 액정배향기술

LCD소자는 일반적으로 샌드위치형으로 그 안에 주입되는 액정은 기판의 표면 처리법에 의하여 일정한 방향으로 균일하게 배향된다. 예를 들면, TN-LCD와 STN-LCD 등이다. 그림 1은 비틀림을 주지 않은 네마틱 액정의 샌드위치셀에 있어서의 배향상태를 나타낸다. 그림 1(a)는 프리틸트각을 가진 수평배향을 그림 1(b)는 수직배향을 나타낸다. 임계치 이상의 전압인가에 의해서 액정의 이방성인 $\Delta\varepsilon$이 $\Delta\varepsilon>0$ 이면 그림 1(a) 상태에서 (b) 상태로, 또는 $\Delta\varepsilon<0$ 이면 그림 1(b) 상태에서 (a) 상태로 후리디렉스(Freedericks)전이를 일으킨다. 이때, 프리틸트를 주게 되면 10^{19}개의 분자가 일제히 같은 방향으로 움직여서 분자의 도메인의 불연속 즉 역방향으로 기울여진 轉傾(reverse tilt disclination)이 발생하지 않고 표시에도 결함이 없다.

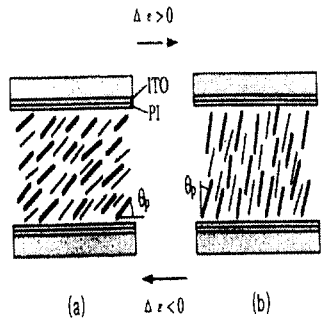

그림 1. 프리틸트각을 가진 배향상태의 구조.

액정분자의 균일배향을 실현하기 위해서는 다음과 같은 방법이 있다.

(1) 고분자막의 러빙처리법: [2-5]

고분자막의 표면 위를 헝겁등으로 일정한 방향으로 문지름으로서(러빙처리법) 고분자를 재배열시켜서 러빙방향으로 액정분자를 배열시켜준다. 이 러빙처리법은 간편하고 배향이 안정하여 산업현장에 있어서 가장 많이 사용되고 있다. 이 방법에는 폴리이미드막이 가장 많이 사용되고 있다. 러빙의 강약을 나타내는 러빙강도(Rubbing Strength)는 D.-S.Seo 등에 의하여 정의되었으며 이 내용에 관하여는 참고문헌으로 대체하기로 한다. [2,3]

(2) SiO 등의 경사증착법[6] :

기판 법선(수직)에서 약 60°의 방향에서 무기물을 기판위에 증착하면 프리틸트각을 0~90°까지 자유롭게 변화시킬 수 있다.

(3) 넌러빙처리법: [7-10]

액정배향에는 LCD 소자의 개발 당초부터 러빙처리법이 사용되어 왔다. 그러나, 이 방법은 러빙시에 발생하는 먼지나 정전기로 인한 박막트랜지스터 소자의 파괴 및 제조 공정이 증가하는 등의 악영향을 미치기 때문에 이전부터 배향막 표면을 러빙하지 않는 넌러빙처리에 의한 액정 배향기술이 요구되어 왔다. 또 최근의 화소의 미세화에 따른 액정의 배향 얼룩의 문제나, LCD의 시야각 특성 개선을 위한 화소의 다분할화의 요구에서 더욱이 넌러빙 액정배향기술의 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 중에서 주쇄(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.

(4) 막분리 방법: [11]

고분자막위에 비닐론필름을 코팅하여 이것을 일정한 방향으로 떼어 내서 배향시키는 방법이다.

(5) Langmuir-Blodgett 법 [12]

이 방법은 일정한 표면압력 상태의 수면상에 단분자를 띄워서 기판을 상하로 움직여 기판위에 1층씩 단분자를 층층이 쌓아서 박막을 만드는 방법이다. 기판을 상하 수직운동으로 하였을 때 위쪽으로 끌어올리는 방향이 액정분자의 배열방향이 된다.

2-3 액정배향의 기구

액정셀의 기판에 접해 있는 액정분자에 외력을 가하여 그 집단에 변화를 주면 극각 방향(polar deformation)과 면내 방향(azimuthal deformation)의 변화가 생긴다.

현재까지 알려진 액정배향의 기구는 다음과 같다.

(1) 표면형상효과[13]

그림 2에 나타낸 바와같이 러빙 또는 그 외에의 가공에 의해서 그 방향에 미세한 groove 가 기판면에 있다고 한다. 그러면 그것이 접하는 액정에 생기는 탄성에너지는 액정의 방향이 groove 에 평행일 때 최소로 된다.

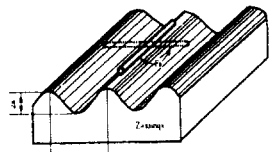

그림 2. Groove 이론.

즉, 자유에너지 F 는 $F_{\perp} - F_{\parallel}$로 되며, 여기서 F 는 groove 에 수직한 에너지를 나타낸다. 평면 비틀림에 의한 자유에너지의 증가는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$\Delta F_s = \frac{K}{4} a^2 q^3$$

여기서, K는 탄성계수, a는 groove의 깊이를, q는 파수를 나타낸다. 이 groove실은 폭이 아주 미세 할 때 액정 배향에 크게 기여하는 것으로 생각할 수 있다.

(2) 배제체적 최소효과(steric interaction)[14]

이 효과는 기판표면위의 액정분자의 중심을 기준으로 배제체적의 크기에 따라 액정배향에의 기여를 알 수 있다. 표면 내에서의 배향성에 기여하는 것 보다 셀 두께방향인 극각 방향에의 기여가 큰 것을 생각되어진다.

수평 배향에 있어서의 표면에너지 F_s는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_s = \frac{1}{2} A_\theta \sin^2\theta_0$$

$$A_\theta = \frac{15\pi}{64} nKTLS$$

여기서 n, K, T, L, S 는 각각 분자농도, 볼쯔만상수, 온도, 액정분자의 길이, 질서도를 나타낸다. A_θ 는 약 1×10^{-3} J/m^{2}로 계산되는 것으로 알려져 있다.

(3) 이방성 분산력(anaisotropic dispersion force)[15]

이것은 van der Waals force (분산력) 라고도 불리워진다. 기판이 고분자막일 때 러빙처리 등에 의하여 굴절율에 이방성이 발생한다. 이 결과 면내에서의 회전에 대한 결합력(비틀림 스프링에 상당하는 A_ϕ)이 발생한다.

(4) 액정분자의 고분자막에의 흡착

등방 상태의 액정을 고분자 배향막을 코팅한 셀에 주입하여 네마틱액정 상태까지 냉각하면 최초의 네마틱액정 분자의 방향에 배향방향의 메모리 작용이 일어나, 네마틱액정분자는 그 방향에 배열한다.이것은 네마틱액정 분자의 흡착 또는 고분자막에의 침투로서 설명할 수있다. 이 침투작용에의해 주위의 고분자막에 복굴절율 Δn 이 발생한다고 생각할 수있다. 이상으로 현재까지 알려진 액정배향의 기구에 대하여 설명하였다.

3. 광시야각 기술

능동매트릭스(AM) 구동 LCD 에는 TN-LCD 표시방식이 적용되고 있으며, 이 표시 방식은 화면의 좌우방향도 시야각이 협소하나, 상하방향은 특히 gray-scale 표시의 경우, 화상반전이 일어나는 등 시야각이 좁은 단점을 가지고 있다. 시야각에 의한 TN-LCD 의 전기광학 특성의 변화는, 시야각 방향에서의 광학 리타데이션 $R=\Delta n\cdot d$의 변화에 대응하여 발생한다. 여기서 Δn 은 액정의 복굴절, d 는 액정층의 두께이다. 이 $\Delta n\cdot d$ 의 값의 시야각에 의한 변화는 $V>V_{th}$ 와 $V<V_{th}$ 상태에 비해 $2\sim3\ V_{th} > V > V_{th}$ 와 같은 중간조 표시의 상태일 때, 분자가 어떤 일정방향에 경사하기 때문에 가장 비대칭성이 나타난다.

특히 그림 3 과 같이, 표시화면이 위 방향과 밑 방향에서의 관찰에서는 실효적인 액정의 복굴절 Δn ($\Delta n=n_{\parallel} - n_{\perp}$,여기서 $n_{\parallel}$: 이상광선에 대한 굴절률, $n_{\perp}$: 상광선에 대한 굴절률)의 값이 다르기 때문에 $\Delta n\cdot d$ 에 비대칭성이 발생하고, 그 결과 시야각도에 의한 투과율 특성이 비대칭으로 나타낸다.

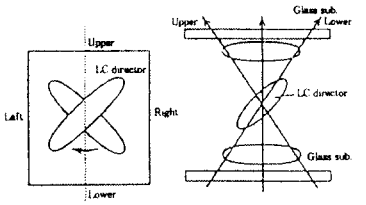

그림 3. TN-LCD의 분자배향 및 중간조표시.

현재까지 알려진 광시야각 기술은 다음과 같다.

1) 광학보상법 (optically compensated method)[16]

광학보상법은 편광판과 액정셀 사이에 광학보상판을 삽입하는 방법으로 정의 광학보상피름을 사용하는 방법, 부의 광학보상필름을 사용하는 방법, 위상차필름을 사용하는 방법, 비틀림을 사용한 광학 보상 필름을 사용하는 방법[16] 등이 알려져 있다. 일반적으로 전압 인가시의 TN 액정은 액정셀 두께 중앙부에서 거의 수직으로서 있고, 광학축이 법선(수직)방향에 있는 정의 일축성의 광학 이방체로 근사 가능하다. 기판 부근에서는 액정분자는 배향막의 배향규제력에 의해 경사되어 있고 광학축이 경사진 정의 일축성의 광학 이방체로 근사 가능하다. 이것을 광학적으로 보상하기 위해서는 TN액정이 거의 수직에 배향하고 있는 부분에 대하여 광학축이 법선 방향에 있는 부의 일축성의 광학이방체를 이용하고, 경사되어 배향하고 있는 부분에 대해서는 광학축이 경사진 부(負)의 일축성의 광학 이방체를 이용하는 것이 좋다고 생각되어 진다.

이상으로 광학보상 필름을 이용하여 TN-LCD의 시야각을 넓히는 방법이 제안되고 있으며 특징으로는, 위상차 필름에 의한 투과율의 저하 및 성능 불충분 등의 단점을 가지고 있었으나, 최근 기술개발로 상당히 질적으로 우수한 특성을 나타내는 필름방식이 개발되고 있다.

2)화소분할법 (halftone grayscale method)

면적이 다른 복수 개의 부화소로 분할하여 각각의 화소에 직렬로 접속되는 용량을 두어 이 용량의 크기에 의해 각각의 부화소에 인가되는 전압의 변화을 이용하여 시야각을 보상하는 방식이다. 화소와 화소사이에 절연물을 삽입하여 제1 및 제2 부픽셀로 한다. 전압비와 부화소의 분할비는 V-T (전압-투과율)와 포토프로세스의 설계 등을 고려하여 결정하고 여기에 화소의 전압을 인가하면 부화소와의 V-T특성이 복합되어서 시야각 특성이 개선된다. 특징으로는 LCD의 두번의 배향제어가 필요하지 않으며, 최대 대비비를 250 까지 올릴 수 있다. 현재 일부에 채용되어 상품화되어 있지만, 프로세스의 증가나 구동 전압의 증가가 문제가 된다.

3)멀티도메인 법(multi domain method)

시야각을 보상하기위하여 화소전극의 분할은 하지 않고, 한 개의 화소에 액정분자의 배향을 복수로 제어하는 것이, 멀티도메인 방법이다. 멀티도메인법은 시야각의 확대와 함께 콘트라스트비가 감소하는 문제를 안고 있다.

(1) TDTN법 (two domain twisted nematic) method:[17]

1980년대 후반에 등장한 방법으로 러빙을 4번 처리한 것으로 제작방법은 상하 양기판에 같은 프리틸트각을 가진 배향막을 배향처리하고 그 배향막의 위를 그림 5과 같이 마스크 러빙법을 이용하여 제작한다. 상하기판의 러빙방향은 서로 반대이다. 한 개의 표시하소는 2개의 미소영역 A, B로 분할되어 기판표면의 액정분자의 프리틸트 방향은 영역간에서 역방향으로 되어 있다. 전압이 인가되면 각 미소 영역의 액정분자는 역방향으로 일어나고, 각 영역마다 도메인이 형성된다. 즉, 방향이 180° 다른 TN 셀이 2개 조합 된 것이다. 특징으로는 콘트라스트비를 10 이상 유지할 수 있으나, 러빙을 4번(상하기판 포함)이나 처리해야 하는 번거러움이 있다. 최근에는 4개의 더메인을 형성하여 상하좌우 방향의 시야각 범위를 60까지 확대하고 있다.

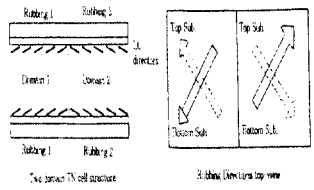

그림 4. TDTN의 원리.

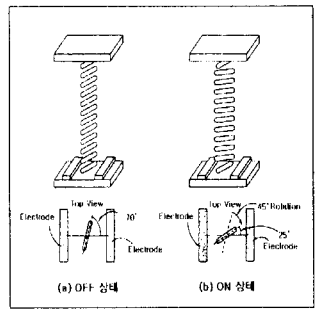

그림 5. IPS방식의 원리.

(2) DDTN법 (divided domain twisted nematic) method:[18]

이 방법은 다른 프리틸트각을 갖는 두 종류의 배향막을 상하의 기판에 각각 나누어 포토 리소그래피에 의해 패턴을 형성하고, 이것에 러빙처리를 하는 포토 레지스트 배향막 분할법으로 두 기판의 러빙방향을 서로 반대로하여 제작한다. 분할 배향처리된 기판을 큰 프리틸트각 영역과 작은 프

리틸트각 영역이 마주보도록 조합한다. 액정의 배향상태는 종래의 균일한 배열과는 달리 약간의 퍼진상태를 가진 트위스트배향으로 된다. 전압이 인가되면 액정분자의 일어나는 방향은 프리틸트각의 큰 쪽의 기판에서 제어되어 배향분할 셀이 실현된다. 이 방법은 콘트라스트비 를 10 이상으로 유지할 수 있고, 포토공정의 추가로 가격상승 및 불순물의 오염 프로세스가 증가되어 신뢰성이 결여되는 단점과 배향막의 차이에 따른 투과율-전압특성에 잔류 히스테리시스가 존재하는 단점도 있다. 하지만 러빙을 2번 처리하여 러빙공정이 줄어드는 장점이 있다.

(3) C-TN법 (complementay twisted nematic) method:[19]

이 방법은 한쪽 기판만을 배향분할용 러빙처리하여 배향 분할하는 방법이다. 한쪽 기판은 저프리틸트각을 가진 배향막을 사용하고, 다른 한쪽 기판에는 고 프리틸드각을 가진 배향막을 각각 나누어 배향 처리하고, 고프리틸트각을 가진 배향막을 마스크 러빙법을 이용하여 배향 분할하고 (분자의 경사 방향은 반대) 다른 한쪽의 저 프리틸트각을 가진 배향막은 1번의 러빙으로 배향처리하여 셀을 만든다. 특징으로는 상하방향의 굴절률의 변화가 작아지고, 중앙부 표시도 넓은 시야각이 얻어진다. 모두 3번의 러빙처리가 필요하며 배향성도 우수하다. 단점으로는 상하기판의 프리틸트각 차가 4° 이상이어야 도메인이 형성된다는 점과 임계치전압이 쉬프트하는 현상이 일어나는 점이다.

4) 옆방향 전계에 의한 배향분할 방식:

SETN(surrounding electrode TN) 방식이라 하며, 이 방식은 배향처리에 의한 배향분할과는 별도로 화소 전극의 구조 (ITO중앙에 구멍을 냄)를 바꾸어 줌으로서 전계를 제어하여 배향분할을 행하는 방법이다. 이 방식에서는 러빙이 필요 없으며, 또 공통전극에 내부 구멍의 모양을 대각선 방향에 늘어나는 X형으로 하는 것에 의해 화소 4분할도 특히 프로세스를 증가하지 않고 실현 가능하다. 현재, SETN 방식은 시야각도가 상하방향 ±45°, 좌우방향 ±5°가 실현되고 있다.

5) a-TN (amorphous - twisted nematic) 방식[20]

이 랜덤배향법은 분할 수를 더 증가시키기 위하여 랜덤한 미소한 도메인으로 화소를 분할하여 시야각 의존성을 개선하는 방법이다. 이 방식은 멀티도메인법으로서 배향막의 러빙을 하지 않고 유동배향을 막기 위해 등방상으로 액정을 주입한다. 실온으로 되돌아가 네마틱상으로 될 때에 액정은 수 ㎛ 정도 크기의 미소 영역으로 분리된다. 각 영역 내에서는 액정의 다이렉터 방향은 갖추고 있지만, 각각 영역의 방향은 랜덤하기 때문에 전체적으로 대단히 많은 영역에 화소를 분할한 것이 되어 대칭성이 좋은 시야각특성을 나타낸다. a-TN의 과제로서 등방상으로 주입하는 일이 있었지만, 실온에서 주입하더라도 열처리를 함으로써 같은 효과가 얻어진다고 하는 보고가 있어 실용에 가까워지고 있다. 신뢰성과 필연성으로 수많이 존재하는 디스크리네이션의 무제가 남은 과제일 것이다.

6) ASM (axially symmetric aligned microcell) 방식

ASM 방식은 액정과 고분자 모노머(monomer)의 혼합으로 상분리현상을 이용하여 중합수지와 액정자체의 배향력을 이용하여 실현한다. 이ASM 방식에서 각 화소에 액정의 마이크로셀을 만들기 위해서 polymer wall을 UV광을 이용하여 제작한다. 편광자는 서로 직교상태로 사용된다.

액정재료에서 카이럴 혼합물은 액정분자를 양 기판 사이에서 90° 비틀리게 하기 위하여 도프한다. 이 셀의 광학 리타데이션인 $\Delta n \cdot d$는 450nm로 설정되는데, 이는 첫 번째 최소상태를 만족시키기 위해 Gooch와 Tarry에 의해 제안된 것과 비슷한 방법으로 계산되는 것이며, 축방향의 대칭적 director 분배를 고려한 것이다. 이러한 ASM방식은 광시야각 특성이 좋으며, 밝은 표시기능 뿐 아니라 높은 콘트라스트비를 갖는다. 하지만 이 ASM 방식은 제작공정이 복잡한 것이 과제이다. 최근, 이 방식을 이용하여 모든 방향에 대하여 시야각도가 70° 인 LCD를 개발하여 실용화에 박차를 가하고 있다.

7) IPS (in-plane swiching) 방식[21]

IPS 방식의 원리는 그림 5 에서 나타낸 바와 같다. 네마틱 액정은 양기판사이에 수평으로 배향된다. 기본적으로 액정은 기판면에서 반응한다. 수평으로 배향된 액정의 광축은 초기 상태에서 아래 기판의 편광자의 편광축과 잘 일치하나 위 기판의 편광자의 편광축과는 직교한다. 이러한 배치는 전기장이 인가되지 않은 상태에서 black상태로 나타난다. 기판에 평행한 전기장이 전극에 인가되면, 이것은 액정의 광축이 편광축을 벗어나게 만든다. 결과적으로 액정분자들은 이상광선이 상광선과 다른 전달속도로 인하여 상(phase)리타데이션이 발생하기 때문에 빛의 전달은 점차 증가한다. 결국 액정의 광축이 편광축으로부터 45도 벗어나면 빛의 최대 전달을 초래하여 가장 밝은 표시를 나

타낸다. IPS 방식은 광시야각 특성이 탁월한 것이 특징으로 좌우, 상하가 기본적으로 180° 정도일 뿐아니라 디스크리네이션 등의 결함이 없다. 그러나, 현재 2가지의 문제점을 안고 있다. 첫째는 개구율이 낮다는 점이다. 이는 양 전극이 낮은 글라스 기판에 위치해 있으므로 오패크표면적 (opaque surface area)이 증가되기 때문이다. 1,024×768 픽셀 스크린인 13.3인치 프로토타입은 종래의 컬러 TFT-LCD가 50% 이상인 것에 비해서 약 30%로 낮다. 개구율이 낮다는 것은 스크린이 더 어둡다는 것을 의미하는 것이므로 스크린을 더 밝게 하기 위해서는 더 많은 전력이 소비되어야 한다. 그 결과, 소비전력은 약 2배가 된다. 이러한 이유 때문에 새로운 방식의 TFT-LCD를 노트북 PC에는 적용하는 것은 그리 바람직하지 않다. 비록 LCD소자를 위한 소비전력은 높지만, 이는 CRT소비전력의 20%~25% 밖에 되지 않는다. 두 번째 문제는 픽셀 치수와 피치의 변화이다. 종래의 TN-LCD방식은 셀두께의 길이와 스크린의 크기는 서로 무관하며 변화가 가능했었다. 이것은 만약 픽셀 영역이 해상도나 화상의 크기 때문에 변하더라도 기본적인 패널구조나 구동회로, 액정 소재에는 변화가 필요 없다는 것을 의미한다. 그러나 새로운 작동 방식의 LCD 소자는 요구되는 기본 구조를 위해서는 픽셀 영역이 변해야 하며, 셀두께의 길이를 변경시켜야 하는데, 이것은 전극의 위치와 숫자로는 물론 구동회로나 액정 자체도 변경을 해야 하는 것을 의미한다. 이 방식은 워크스테이션용의 10인치 이상의 TFT-LCD 등에 이용될 것으로 기대되며 앞으로 신뢰성이 있는 소자를 제작할 수 있는 조건 등을 검토할 필요가 있다.

8) OCB 방식 (optically copensated bend mode)

OCB 방식은 비스듬히 일어난 상태의 광학적 특성이 보는 방향에 따라서 변화하지 않도록 하기 위해 3차원의 광학보상을 이용하므로써 3차원방향으로 굴절률을 균등하게한 방식이다. 원리적으로는 광축이 상호 직교하는 3장의 일축성(uniaxial) 광학매체를 상정하는데, 실제는 이중 2장을 벤드배향의 액정 셀로, 나머지 1장은 일축성 위상차필름으로 한다. 여기서 액정에 안정된 벤드배향을 얻기 위해서는 프리틸트각을 몇도 이상으로 한 후에 전압을 가해야 한다. 이 때문에 수직배향성분이 증가하고 광학보상하기 위해서는 일축성 위상차필름을 이축성 위상차필름으로 할 필요가 있다. 따라서 OCB셀은 2장의 편광판간에 벤드배향셀과 이축성(biaxial) 위상차필름을 삽입한 구도가 된다. 이러한 벤드배향셀은 1~10ms정도의 빠른 응답속도를 얻을 수 있고 시야각특성이 우수하다. 아직 액정재료의 물리상수는 최적화된 것은 아니지만 수평·수직 양쪽에서 40~50도 정도의 시야각까지 높은 콘트라스트를 얻을 수 있다. 하지만 바이어스전압으로 액정을 안정하게 제어하기 어렵다는 단점이 있다. 이러한 바이어스전압에 관한 문제는 현재 연구가 진행되고 있다.

9) PDN 방식 (polymer dispersed LCD with crossed nicols mode)

폴리머 분산형 액정은 대칭적인 배향성을 가지고 있다. 액정분자의 배열이 액정상의 형상을 가지고 결정되기 때문에 수직 방향의 복굴절의 보상부분만 아니라 화소면내의 방향성은 해소 될 수 있다. 이 성질을 이용하여 시야각의존성을 감소시킨 것이 PDN 방식이다. 구조는 서로 직교한 편광판으로 폴리머 분산 액정셀을 사이에 둔 구성이다. PDN 방식은 정면방향에서 콘트라스트는 100:1 이상이다. 경사진각 45도에서도 30:1 이상의 콘트라스트가 얻어진다.

10) 신방식 단순매트릭스 LCD 방식

신방식 단순매트릭스 LCD방식은 응답속도가 빠르고, 콘트라스트비가 높고, 시야각이 넓다는 특징이 있다. IPS방식과 같이, 액정분자를 면내에 뉘어논 상태에서 표시하기 때문이다. 단, 동작방식은 약간 다르다. 패널구조는 종래의 STN-LCD와 같다. 화소에 전압을 인가하지 않은 상태에서는 액정분자는 기판에 수평으로 180° 비틀린 상태(안정상태)를 가진다. 일반적인 TN-LCD에서는 비틀림각도가 90° , STN-LCD에서는 210° 정도로 되어있고, 이때가 OFF상태이다. 여기서 수 V이상의 전압을 인가하면 액정분자가 기판과 수직으로 일어서고 20V정도의 전압을 인가하면 액정분자는 한번 일어서지만, 연속하여 약 5V의 전압을 인가하면 비틀림각도가 0° 의 상태, 약 3V의 전압을 인가하면 360° 의 상태로 변화한다. 이 2상태를 ON상태/OFF상태로 한다. 전압을 끊어도 2상태는 수초간 안정하게 된다(준안정 상태). OFF상태를 ON상태, ON상태를 OFF상태로 변화시킬 때에는 같은 방법으로 전압을 인가하여 액정분자를 인가하여 구동시킨다. 일반 STN-LCD는 전압을 인가하여 OFF상태에서 ON상태로 변화하려면 약 100ms이상의 시간이 필요하다. 이것에 비하여 새로운 방식에서는 0° 의 준안정 상태에서 360° 의 준안정 상태로 변화하기 위해 필요한 시간이 약 4ms정도

로 빠르다. 준안정 상태를 사용하기 때문에 고콘트라스트를 실현할 수 있다. 그리고, 또 하나의 특징은 시야각이 넓다는 이점이 있다. 좌우방향 ±80°, 상하방향 ±70° 를 얻을 수 있다. 단점으로는, 2개의 준안정 상태를 사용하기 때문에 중간조표시가 어렵다. 그리고 셀두께를 2㎛ 정도로 하지 않으면 안되기 때문에 셀두께의 오차로 인한 표시얼룩 등의 문제가 예상되어진다.

11) VA (Vertical Alignment) 방식

VA방식은 러빙공정을 필요로 하지 않고 광시야각과 고속 응답을 얻을수 있으므로 산업계에서 활발히 연구하고 있다. VA방식에서는 네마틱 액정이 수직배열되어 있고 전계 인가에 의해 기울어진다. 상하에 편광판이 존재하고 교차되어 있어 전압 무인가시에는 Black 상태를 보이고 전압 인가시에는 액정 디렉터가 편광판과 45° 또 각도를 이루며 눕게 되어 Bright 상태를 나타낸다. 종래 개념에서는 상하 기판에 전압이 인가되어 수직필드가 형성되기 때문에 필드방향에 수직으로 눕는 음의 액정이 사용되었다. 이때 눕는 방향이 한방향이면 시야각에 따라 Δnd 값이 달라져 시야각의 저하를 가져온다. 시야각 개선을 위해 산요전기에서는 본문의 SETN에서 언급한것처럼 상판의 ITO 전극을 patterning해 전압인가시 4방향으로 fringe field를 형성해, 액정을 4방향으로 눕게 하는 방식으로 시야각을 향상시킨다. 후지쯔사[23]에서는 그림 6 에서 보는것

표 1. LCD 소자의 광시야각 기술의 특징

광시야각 기술	도메인 수	배향법	시 야 각	콘트라스트비	생산성	단 점	비 고
일반 TN방식	1	러빙	좌우 90° 상하 40°	○	○	시야각협소 상하반전	
광학 보상법	1	러빙	좌우 120° 상하 90°	○	○	투과율저하	양쪽면필름 이용
화소 분할법	부화소	러빙	좌우 110° 상하 90°	◎	△	가격상승	
멀티 도메인법	2	러빙	좌우 100° 상하60~70°	○	△~×	러빙 4번	TDTN
	2	러빙	〃	○	△~×	C-V특성에잔류 히스테리시스존재	DDTN
	2	러빙	〃	○	△~×	임계치가이동	C-TN
	4	러빙	좌우 120° 상하 100°	○	△~×	제조공정증가	
	2	UV배향	좌우 100° 상하 90°	○	◎	신뢰성문제	
	4	〃	좌우 120° 상하 100°	○	○	〃	
	모든방향	넌러빙	좌우 120° 상하 100°	△	◎	투과율저하 도메인제어	a-TN
	모든방향	넌러빙	좌우 140° 상하 140°	○	○	제작 공정 복잡 신뢰성	ASM
횡방향 전계법	1	러빙	좌우 110° 상하 90°	○	○	추가공정이없음	
IPS방식	1	러빙	좌우 140° 상하 140°	△	○	구동전압상승 중간조표시때의 응답속도가문제	면내의전계를 이용
OCB 방식	1	러빙	좌우 100° 상하 120°	○	○	밴드배향문제	
PDN 방식	1	넌러빙	좌우 120° 상하 100°	○	○	신뢰성	PDLC방식 이용
신방식 단순매트릭스 LCD방식	1	러빙	좌우 140° 상하 140°	○	○	중간조표시가문제	STN방식을 이용 응답속도가 좋음
VA 방식	2 or 4	넌러빙	좌우 140° 상하 140°	◎	○	보상필름 적용	

처럼 기판 표면에 돌기를 형성, 전압 인가시 액정분다가 좌우로 눕게하며 시야각을 향상시키는 MVA (multi-domain VA)를 개발하였다. 현대전자사[24]에서는 기존의 개념과는 달리 수직배향모드에 양의 액정을 사용하고 수직장이 아닌 평행장에 의해 액정을 좌우로 눕게 하는 방식으로 시야각을 향상시키는 DDVA (Duble Domain-like VA)를 개발하였다. (그림 7 참조) 모든 수직배향 방식에서는 전압무인가시 정면에서는 완벽한 black 이지만 편광판축과 벗어나는 시야각에서는 누설광이 발생해 명암대비율이 떨어지는데 부의 보상필름을 적용 누설광

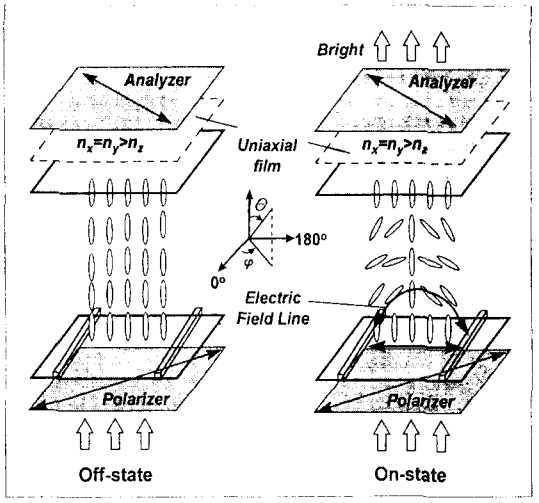

그림 7. DDVA 셀 동작원리와 Off, On시 액정의 배열상태

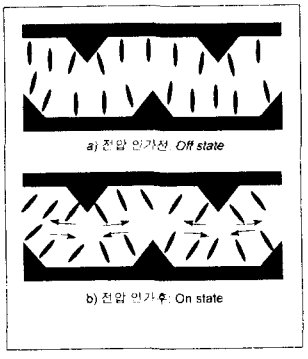

그림 6. MVA액정의 기판 동작 원리

을 억제한다. 일반적으로 응답시간이 25ms이내이고 시야각은 70도 이상을 보여주는 우수한 장점이 있지만 신뢰성 있는 배향막재료가 필요하고 보상필름을 적용해야 한는 단점도 있다.

이상과 같이 LCD 소자의 시야각 특성을 개선하기 위하여 많은 방법들이 제안되고 있다. 이 방법들의 시야각 특성 및 장단점을 표 1에 나타낸다.[22] 이 방법들을 보면 서로 장단점을 가지고있어 앞으로는 사용되는 분야에 따라서 필요한 방식을 선택하여 응용할 것으로 생각되어진다. 일반 노트북PC 등에는 광학보상법이, 워크스테이션용에는 IPS방식이 유력한 후보로 거론되고 있으며 향후 이외의 방식의 기술개발 여부에 따라 상황이 많이 바뀌어질 수 있을 것으로 전망된다.

4. 결 론

본 논문에서는 액정배향기술 및 광시야각 기술에 관하여 설명하였다. 표면 액정배향기술에 있어서는 종래의 러빙처리법에 대신하여 편광된 자외선을 조사하여 액정분자를 배열시키는 광배향기술이 큰 기대를 모으고 있으며, 이 기술은 프리틸트각의 발생기술과 신뢰성이 과제로 남아있다.

광시야각 기술에 있어서는 최근까지 여러 방식이 제안되어 왔으며 그 중에서도 현재로는 광학보상법, IPS 방식 등이 실용화가 진행되고 있다. 각각의 방식에 따라 서로 장단점을 지니고 있어 향후 이용분야에 따라 용도를 나누어서 응용될 것으로 기대되어 진다. LCD 소자는 이런한 기술개발의 결과로 평판디스플레이 소자 중에서 더욱 확고한 위치를 확보할 것이며 더 많은 시장성을 개척할 것으로 전망된다.

참고문헌

1. M. Schadt and W. Helfrich, Appl. Phys. Lett., Vol. 18, 127, 1971.
2. D.-S. Seo, K. Muroi, and S. Kobayashi, Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 213, 223, 1992.
3. D.-S. Seo, S. Kobayashi, and M. Nishikawa, Appl. Phys. Lett., Vol. 61, 2392, 1992.
4. D.-S. Seo, K. Araya, N. Yoshida, M. Nishikawa, Y. Yabe, and S. Kobayashi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, 1503, 1995.
5. M. Nishikawa, N. Bessho, T. Natsui, Y. Ohta, N. Yoshida, D.-S. Seo, Y. Iimura, and S. Kobayashi, Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 275, 15, 1996.
6. J. Janning, Appl. Phys. Lett., Vol. 21, 2045, 1990.

7. M. Schadt, K. Schmitt, V. Kozinkov, and V. Chigrinov, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 31, 2155, 1992.
8. W. M. Gibbons, P. J. Shannon, S.-T. Sun, and B. J. Swelin, Nature, Vol. 351, 49, 1991.
9. M. Hasegawa and Y. taira, J. Photopolym. Sci. Technol., Vol. 8, 241, 1995.
10. D.-S. Seo, L.-Y.Hwang, and S.Kobayashi, Liquid Crystals, Vol. 23, 923, 1997.
11. Y. Kawata, and Y. Mori, 21th Japanese Liquid Crystal Conference (Sendai, september,1995) 348.
12. D.-S. Seo, S. Kobayashi, D.-Y. Kang, and H. Yokoyama, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, 3607, 1995.
13. D. W. Berrman, Phys. Rev. Lett., Vol. 28, 1683. 1972..
14. K. Okano, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 22, L343, 1983.
15. K. Okano, N. Matsuura, and S. Kobayashi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 21, L107, 1982.
16. H. Hatoh, M. ishikawa, Y. Hisatake, J. Hirata, and T. Yamamoto, Journal of SID, Vol. 1, 1, 1993.
17. K. H. Yang, IDRC '91 Digest, 68, 1991.
18. Y. Koike, T. Kamada, K. Okamoto, M. Ohashi, I. Tomit, and M. Okabe, SID '92 Digest, 798, 1992.
19. K. Takatori, K. Sumiyoshi, Y. Hirai, and S. Kaneko, IDRC '92 Digest, 591, 1992.
20. Y. Toko, T. Sugiyama, K. Katoh, Y. Iimura, and S. Kobayashi, SID '93 Digest, 622, 1993.
21. M. Oh-e, M. Ohta, S. Aratani, and K. Konde, Asia Display '95 (Hamamatsu, October, 1995), 577.
22. D.-S. Seo, 평판 디스플레이 소재와 제조기술 및 개발동향, 과학기술정보 연구소, 50, 1996.
23. Y. Koike, S. Kataoka, T. Sasaki, H.Chida, A. Takeda, K. Ohmura, T.Sasabayashi, and K. Okamoto, IDW '97, 159, 1997
24. S. H. Lee, H. Y. Kim, I. C. Park, B. G. Rho, J. S. Park, H. S. Park, and C. H. Lee, Appl. phys. Lett. 71(19), 2851 (1997)

<서대식 위원>