

LCD의 광시야각 기술개발 및 최신동향

기술해설

Recent Trend of Wide Viewing Angle Technology on Liquid Crystal Display

서 대 식
(Dae-Shik Seo)

Key Words(중요용어) : Liquid Crystal Display(액정디스플레이), Surface Liquid Crystal Alignment(표면액정배향), Rubbing(러빙), Viewing Angle(시야각), Non-rubbing (넨러빙)

1. 서 론

최근, 고도 정보화 시대를 맞이하여 중요한 소자로서 반도체 소자와 함께 인간과 기기와의 인터페이스를 담당하는 정보디스플레이소자의 역할이 중요한 위치를 차지하게 되었다. 많은 형태, 종류의 정보를 취급하는 멀티미디어시대의 디스플레이소자로서 액정디스플레이 (LCD ; Liquid Crystal Display) 소자에 대한 기대는 상당히 크다. 1973년 전자계산기의 표시장치소자로 처음으로 상품화된 LCD 소자는 오늘날에 이르기까지 약 20년간 고성능 도트 매트릭스 구동 LCD가 가능하여 액정배향기술, 액정재료, 구동기술, 박막트랜지스터 형성 기술, 컬러필터, 전극재료 등의 주변기술, 생산제조 기술 등의 개발에 주력해 왔다. 이 결과로 저소비 전력, 고화질, 평판, 경량 등의 특징을 살려 지금까지의 CRT (Cathod Ray Tube) 로서는 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 고도 정보화 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. 차세대의 LCD 소자는 지금보다 훨씬 뛰어난 성능을 지닌 고성능 LCD가 개발되어 우리 주변의 많은 환경을 바꾸어 놓을 것으로 기대된다. 본 논문에서는 이러한 고성능 LCD 소자의 개발에 필요한 표면 액정배향기술 및 광시야각 기술개발의 최신현황과 차세대의 LCD 소자에 있어서 필요한 요소 기술에 대하여 해설한다.

2-1. 액정 및 LCD의 표시방식

액정은 서모트로픽(Thermotropic)과 라이오토로픽(Lyotropic) 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 30~50Å 정도의 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(Nematic (N)) 액정, 콜레스테릭(Cholesteric (Ch)) 액정, 스멕틱(Smectic (S)) 액정으로 분류된다. 네마틱 액정은 액정분자가 평행으로 배열하나 한개 한개의 분자는 건축 방향으로 비교적 자유롭게 이동 가능하고, 분자의 중심은 거의 랜덤(random)으로 층구조는 존재하지 않는다. 이 때문에 유동성이 풍부하며 점도는 작다. 네마틱 액정은 한개 한개의 액정분자에 있어서 조금씩 그 방향을 바꾸고 있으나 거시적으로는 한쪽 방향을 향하고 있다. 콜레스테릭 액정은 네마틱 액정과 열역학적으로는 구별할 수 없을 정도로 비슷하다. 광학적으로는 일축성이나 부($n_e < n_o$)의 액정으로 chiral한 네마틱 액정(N^{*})으로도 불려진다. 스멕틱 액정은 분자가 층구조를 형성하고 구성 분자는 서로 평행으로 배열하고 있으나 분자의 중심은 층내에서는 일반적으로 랜덤한 배열을 하고 있다. 분자가 층에 수직일 때(S_A)는 광학적으로 일축성이고 기울어져 있을 때(S_C)에는 이축성이다. 스멕틱 액정은 자발 분극(P_S)을 나타내는 강유전성 방식에 사용된다.

2. LCD의 원리 및 표면액정배향기술

LCD 소자는 액정재료가 가지는 분자의 장축, 단축에 있어서 유전율 이방성, 굴절율 이방성 등의 성질을 이용하여 전장이나 열 등의 인간에 의해 생기는 광학효과를 이용하고 있다. 광학효과는 간섭, 선광, 산란, 흡수 등이 있고, 표 1 에 지금까지 제안된 액정 표시방식을 나타낸다.

또, 문자나 화상을 표시하는 LCD소자는 일반적으로 X-Y 매트릭스 전극을 가진 2장의 유리기판에 액정을 샌드위치된 구성으로 되어 있고, 그 구동방식에 의하여 단순 매트릭스 구동 LCD와 능동 매트릭스 구동 LCD로 구별된다. 이들의 구동방식에 적용되고 있는 액정의 표시방식 및 응용분야를 표 2 에 나타낸다.

표 1. LCD의 표시방식

Table 1. The kinds of LCD modes.

외부 의힘	표시 방식		편광판		광학효과
			필요	필요 없음	
전 계	비틀어진 네마틱 방식	TN-LCD	○		선광성
		STN-LCD	○		복굴절 광의 간섭
	복굴절 제어 방식	DAP	○		
		HAN	○		
	GH 방식	Heilmeyer형	○		색소의 이방성 흡수
		WT형		○	
상전이 방식	N Ch 상전이형		○	광산란	
	폴리머 분산 방식	PDLC			○
진류 전계	광산란방식	DSM		○	
열·전계	광산란방식	Smetic A 상의 메모리 효과		○	

단, TN : Twisted Nematic, STN : Super Twisted Nematic,
 DAP : Deformation of Vertical Alignment Phase,
 HAN : Hybrid Aligned Nematic, WT : White Taylor type
 PDLC : Polymer Dispersed Liquid Crystal, DSM : Dynamic Scattering Mode

2-2 TN-LCD 방식¹⁾

이 방식은 그림 1 에 나타낸 바와 같이, 2장의 유리기판으로 형성되어 있고 각각 러빙 방향이 90° 어긋나도록 함으로써 액정분자 방향이 90° 비틀어지도록 한다. 그리고 2장의 편광판을 러빙 방

표 2. LCD의 구동방식과 이용분야

Table 2. The addressing method and application of LCDs.

구동방식	표시 방식	이용 분야	
단순 매트릭스 구동 LCD	비메모리형	TN-LCD	계측기, 게임기, 손목시계
		STN-LCD	휴대용 정보단말기: 워드프로세서, 노트북PC, 전자수첩
		DAP-LCD	PC(CSH 방식이용)
	메모리형	SSFLCD	워크스테이션
N-Ch 상전이형 LCD		전자 OHP, 계산대	
능동 매트릭스 구동 LCD	구동 스위치 소자: a-Si TFT, p-Si TFT, MIM	TN-LCD	<ul style="list-style-type: none"> • 적시형 AV기기 : 노트북 PC, 벽걸이형 TV 등 • 투사형 AV기기 : 액정비전 등
		N-Ch 상전이형 LCD	투사형 AV기기
		GH-LCD	휴대용 정보 기기

단, a - Si TFT : amorphous - Silicon Thin Film Transistor, p - Si TFT : Poly - Silicon Thin Film Transistor, MIM : Metal Insulator Metal

향에 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 방향을 바꾸므로 빛이 차단되어 어두운 표시를 나타낸다. 이 방식을 "normally white" 방식이라 하며, 편광판을 평행으로 하였을 때의 방법을 "normally black" 방식이라 한다. 일반적으로 LCD에서는 normally white 방식이 사용되고 있다. TFT-LCD 구동방식은 TN-LCD 방식을 이용하며, 각 화소마다 스위칭소자를 만들어 구동시키는 방법이다. 이 TN-LCD 방식 외에 S(super)TN-LCD 방식,²⁾ ECB (Electrically Controlled Birefringence) 방식, N-Ch (cholesteric) 상전이방식,³⁾ FLC (ferroelectric liquid crystal display) 방식,⁴⁾ PDLC (polymer dispersion liquid crystal) 방식⁵⁾ 등이 알려져 있으며 이들의 기술개발 내용에 관하여는 다음기회에 논하기로 한다.

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.

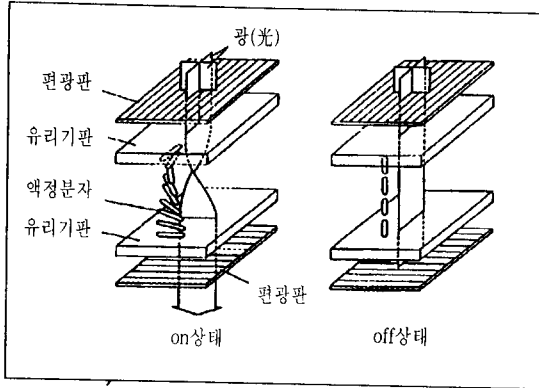


그림 1. TN-LCD의 원리.

Fig. 1. Principle of the TN-LCD mode.

2-3. 표면액정배향기술

연구용 또는 실용적으로 쓰이는 LCD소자는 일반적으로 샌드위치형으로 그 안에 주입되어 봉합된 액정은 기판의 표면 처리법에 의하여 일정한 방향으로 균일하게 배향된다. 예를 들면, TN-LCD 와 STN-LCD 등이다. 그림 2는 비틀림을 주지 않은 네마틱 액정의 샌드위치셀에 있어서의 배향상태를 나타낸다. 그림 2(a)는 프리틸트각을 가진 수평배향을 그림 2(b)는 수직배향을 나타낸다. 임계치 이상의 전압인가에 의해서 액정의 이방성인 $\Delta\epsilon$ 이 $\Delta\epsilon > 0$ 이면 그림 2(a) 상태에서 (b) 상태로, 또는 $\Delta\epsilon < 0$ 이면 그림 2(b) 상태에서 (a) 상태로 후리디렉스(Freedericks)전이(transition)를 일으킨다. 이때, 프리틸트를 주게 되면 10^{19} 개의 분자가 일제히 같은 방향으로 움직여서 분자의 도메인의 불연속 즉 역방향으로 기울어진 轉傾(reverse tilt disclination)이 발생하지 않고 표시에도 결함이 없다.

액정분자의 균일배향을 실현하기 위해서는 다음과 같은 방법이 있다.

1)수직배향법

(1) 兩親媒體分子를 코팅하는 방법.⁶⁾

공업적으로는 C-F鎖分子 $C_8F_{17}SO_2NH(CH_2)_3N^+(CH_3)^3 \cdot I$ (DIC제 FS150) 등을 기판위에 코팅한다.

(2) SiO 등의 경사증착법⁷⁾

(3) 고분자의 말단기(side chain)에 탄소 등을 길게 붙이는 방법⁸⁾

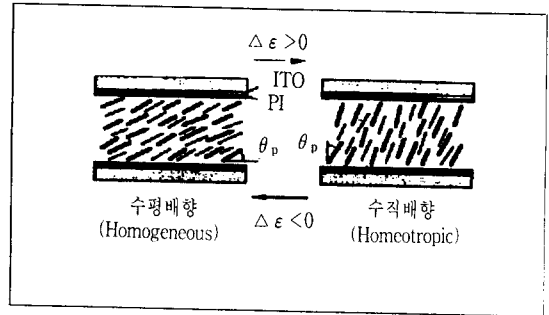


그림 2. 프리틸트각을 가진 배향상태의 구조.

Fig. 2. A schematic diagram of orientation conformations with pretilt angle.

2)수평배향법

(1) 고분자막의 러빙법: ^{9, 20)}

고분자막의 표면 위를 형접등으로 일정한 방향으로 문지름으로서(러빙법) 고분자를 재배열시켜서 러빙방향으로 액정분자를 배향시켜준다. 이 러빙법은 간편하고 배향이 안정하여 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.^{9,10)}

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

여기서, N 은 러빙한 회수(여기서는 N=1 로), M 은 섬유 기판과의 접촉 거리, n 은 러빙물리의 회전수(1000/60S⁻¹), v 는 기판의 이동속도(7.0 (mm/s)), r 은 러빙물리의 반경을 나타낸다. 여기서는 러빙강도에 가장 큰 기여를 하는 섬유 표면과 기판과의 접촉 거리인 M 을 변화시켜서 러빙강도를 변화시켰다. 실제로, 단위 면적 당의 러빙에 의한 일의 양 W 는 W = a · RS 이며, RS 에 비례한다. 여기서 a 는 마찰계수를 나타낸다. 즉, 러빙강도인 RS 를 변화시켜 줌으로서 실제의 일 W 를 변화시킬 수 있다. 본 연구자는 고분자막의 러빙법에 관하여 폭넓게 많은 평가를 해 왔으며, 이 내용에 관하여는 참고문헌으로 대체하기로 한다.

(2) SiO 등의 경사증착법:⁷⁾

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

(3) 너러빙법: ^{24, 28)}

LCD의 표시 성능을 결정하는 중요한 기술인 액정의 배향제어법은 LCD 소자의 개발 당초부터

러빙법이 사용되어 왔다. 러빙법이란 고분자막 표면을 섬유질 등으로 일정한 방향으로 문지르므로써 그 방향으로 액정분자를 배열시키는 방법이다. 이 러빙법은 배향처리가 간단 및 안정, 대량생산에 적합, 프리틸트각의 제어가 용이한 점 등의 이점이 있어 현재 가장 많이 이용되고 있다. 그러나, 이 방법은 러빙할때 발생하는 먼지나 정전기로인한 박막트랜지스터 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 다분할화의 요구에서 더욱이 너러빙 액정 배향기술의 개발의 필요성이 강하게 인식되어 광 배향 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 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(光異性化, 光重合, 光分解)이 조사된 광의 편광방향과 그 고분자의 배향방향과의 내각에 의해서 제어된다.

(4) 막분리 방법:²⁹⁾

고분자막위에 비닐론필름을 코팅하여 이것을 일정한 방향으로 떼어 내서 배향시키는 방법이다.

(5) Langmuir-Blodgett 법^{30, 31)}

이 방법은 일정한 표면압력 상태의 수면상에 단분자를 띄워서 기판을 상하로 움직여 기판위에 1 층씩 단분자를 층층이 쌓아서 박막을 만드는 방법이다. 기판을 상하 수직운동으로 하였을 때 위쪽으로 끌어올리는 방향이 액정의 director 방향이 된다. 이 방법은, 막을 원자단위로 제어 가능한 것이 특징으로 나노테크놀러지에 큰 역할을 담당하며, 앞으로 유기 반도체 및 센서분야 등에 많은 발전이 있을 것으로 기대된다.

3. 광시야각 기술

능동 매트릭스(AM)구동 LCD에는 TN-LCD 표시방식이 적용되어 노트북PC, AV기기의 컬러표시 등에 많이 이용되고 있다. 이 표시 방식은 화면의

좌우방향도 시야각이 협소하나, 상하방향은 특히 중간조 표시의 경우, 화상반전이 일어나는 등 시야각이 좁은 단점을 가지고 있다. AM-LCD는 CRT에 대적할 색재현성, 표시 코트라스트 등의 표시성능을 가지면서도, 이 시야각이 좁다는 큰 과제가 있어, LCD의 대형화, full color화가 진행되는 과정에서 큰 이슈로 등장하여 현재 개발이 활발히 이루어지고 있다. 시야각에 의한 TN-LCD의 전기광학 특성의 변화는, 시야각 방향에서의 광학 리타레이션 $R=\Delta n \cdot d$ 의 변화에 대응하여 발생한다. 여기서 Δn 은 액정의 복굴절, d 는 액정층의 두께이다. 이 $\Delta n \cdot d$ 의 값의 시야각에 의한 변화는 $V \geq V_{th}$ 와 $V < V_{th}$ 상태에 비해 $2 \sim 3 V_{th} > V > V_{th}$ 와 같은 중간조 표시의 상태일 때, 분자가 어떤 일정방향에 정사하기 때문에 가장 비대칭성이 나타난다.

특히 그림 3과 같이, 표시화면이 위 방향과 밑 방향에서의 관찰에서는 실효적인 액정의 복굴절 Δn ($\Delta n = n_{||} - n_{\perp}$, 여기서 $n_{||}$: 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 나타난다. 현재까지 알려진 광시야각 기술은 다음과 같다.

1) 광학보상법(Optically Compensated Method)

광학보상법으로는 편광판과 액정셀 사이에 광학보상판을 삽입하는 방법으로 다음과 같은 방법이 알려져 있다.

(1)정(positive)의 광학보상판(POC)을 사용하는 방법:³¹⁾

여러 종류의 광학적 성질을 가진 폴리머 재료가 이 광학 이방층으로 생각되어지며 두께방향에 주광축이 정(+)의 광학이방층을 사용하는 방법이다.

(2)부(negative)의 광학보상판(NOC)을 사용하는 방법:³¹⁾

액정셀 두께방향에 주광축이 부(-)의 광학이방층을

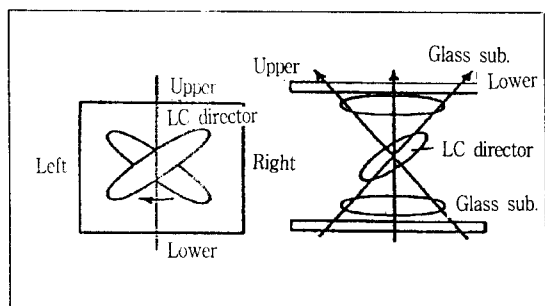


그림 3. TN-LCD의 분자배향 및 중간조표시.
Fig. 3. Molecular deformation of TN-LCD and gray-scale characteristics.

사용하는 방법이다.

(3) 위상차보상판(RF)을 사용하는 방법:³⁴⁾

면내 방향에 주광축이 있는 보상판을 사용하는 방법이다.

(4) 비틀림을 사용한 광학 보상판(USTC:Ultra Super Twisted Compensator):³⁵⁾

층내에서 광축이 비틀어져 있는 보상판을 사용하는 방법이다.

일반적으로 전압 인가시의 TN 액정은 액정셀 두께 중앙부에서 거의 수직으로 서 있고, 광축이 법선(수직)방향에 있는 정의 일축성의 광학 이방체로 근사 가능하다. 기관 부근에서는 액정분자는 배향막의 배향규제력에 의해 경사되어 있고 광축이 경사진 정의 일축성의 광학 이방체로 근사 가능하다. 이것을 광학적으로 보상하기 위해서는 TN 액정이 거의 수직에 배향하고 있는 부분에 대하여 광축이 법선 방향에 있는 부의 일축성의 광학이방체를 이용하고, 경사되어 배향하고 있는 부분에 대해서는 광축이 경사진 부(負)의 일축성의 광학이방체를 이용하는 것이 좋다고 생각되어 진다.

이러한 개념을 토대로 하여 최근에는 다음과 같은 방법이 개발되고 있다.

(1) 액정셀의 양측에 보상판을 사용하는 방법(후지 사진필름 (주)):³⁶⁾

한 쪽의 위상차 판에는 2개의 위상차 특성을 가진다. 액정분자가 수직일 때 대하여는 광축이 법선 방향에 있는 부의 광학이방체를, 액정분자가 경사진 경우에 대하여는 광축이 경사진 부의 광학이방체를 이용하여 보상한다.

(2) 부의 콜레스테릭 필름의 보상판을 사용(일본석유 (주)):^{37,38)}

액정셀과 편광판 사이에 보상판을 삽입하는 구조이다. 부의 일축성 필름은 액정성 폴리머를 짧은 피치의 콜레스테릭 배향을 시킴으로서 만든다. 액정셀과 편광판 사이에 보상판을 삽입하는 구조이다.

(3) 광축이 위상차 필름의 법선(수직)방향에 없는 방법 (일본석유 (주)):³⁷⁾

이 방법은 어두운 표시일 때 액정분자는 기관에 대하여 완전히 수직으로 배향하고 있지 않고, 액정분자의 director가 법선 방향에서 기울어져 있으며, 부의 일축성 광학재료를 이용하여 광축이 필름 법선 방향에 없는 광학필름을 이용한다. 이 필름은 면내에 리타데이션을 가지고 있고, 진행 축 방향에 따라서 기울어 관찰했을 때 리타데이션은 좌우에 관하여 비대칭이다. 즉 이 비대칭인 리타데이션을 보상하기 위하여 보상필름의 광축이 필름의 법선

방향에 광축이 없는 것을 이용하므로써 보상하는 방법이다.

이상으로 광학 보상판을 이용하여 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)³⁹⁾

면적이 다른 복수 개의 부화소로 분할하여 각각의 화소에 직렬로 접속되는 용량을 두어 이 용량의 크기에 의해 각각의 부화소에 인가되는 전압이 결정된다. 방법으로는 한 개의 화소전극 위에 절연막을 형성하여, 그 위에 또 한 개의 화소전극을 형성한다. 이 위쪽의 전극은, 밑의 전극의 내부에 들어 올 수 있도록 작게 한다. 이 상하의 전극과 절연막과의 캐패시터가 구성된다. 이렇게 하여 형성된 주위 및 내부의 영역을 제1 및 제2 부픽셀로 한다.

제2 부픽셀에서는 액정용량과 캐패시터가 직렬로 접속되어 있는 구조이다. 이 캐패시터(제어 캐패시터)에 의해 용량분할된 전압이 제2 부 픽셀의 표시전극에 인가되게 된다. 부 픽셀의 전극 면적비와 제어 캐패시터의 값을 최적화하여 시야각을 넓힐 수 있다. 전압비와 부화소의 분할비는 V-T(전압-투과율)와 Photo-process의 설계 등을 고려하여 결정하고 여기에 화소의 전압을 인가하면 부화소 각의 V-T특성이 복합되어서 시야각 특성이 개선된다. 특징으로는 LCD의 배향에 대한 Control이 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)

종래의 TN-LCD에서는 중앙부 표시에서는 기관내의 액정분자는 약 45도 정도 경사졌다. 이 때문에 기관의 상하방향으로 시선을 이동시키면, 굴절률 이방성의 값이 크게 변화하고 투과율이 변화한다. 이것은 시야각에 큰 영향을 주며 이러한 문제를 해결하기 위하여 최소전극의 분할은 하지 않고, 한 개의 화소에 액정분자의 배향을 복수로 제어하는 것이 멀티도메인 방법이다. 멀티도메인법은 시야각의 확대와 함께 콘트라스트비가 감소하는 문제를 안고 있다.

(1) TDTN (Two Domain Twisted Nematic) Method:⁴⁰⁾

1980년대 후반에 등장한 방법으로 리빙을 4번

처리한 것으로 제작방법은 상하 양기판에 같은 프리틸트각을 가진 배향막을 배향처리하고 그 배향막의 위를 그림 4과 같이 마스크 러빙법을 이용하여 제작한다. 상하기판의 러빙방향은 서로 반대이다. 한 개의 표시소자는 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.

TDTN법의 특징으로는 콘트라스트비를 10 이상 유지할 수 있으나, 러빙을 4번(상하기판 포함)이나 처리해야 하는 번거로움이 있다.

최근에는 상하방향의 시야각도가 60~70° 을 실현하였다.

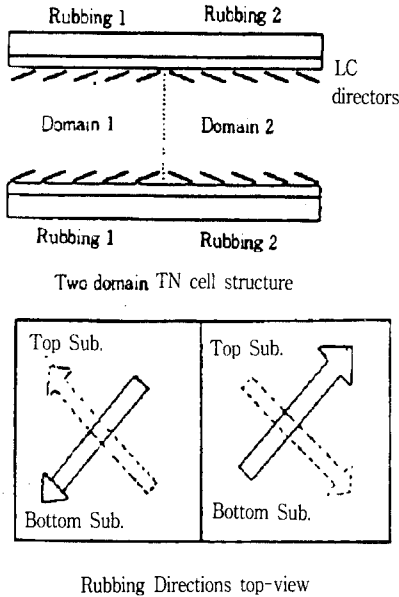


그림 4. TDTN의 원리.

Fig. 4. Principle of the TDTN mode.

(2) DDTN(Divided Domain Twisted Nematic) Method.⁴¹⁾

그림 5와 같이 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 프리틸트각 영역이 마주보도록 조합한다. 액정의 배합상태는 종래의 균일한 배열과는 달리 약간의 Splay상태를 가진 twist 배향으로 된다. 전압이 인

가되면 액정분자의 일어나는 방향은 프리틸트각의 큰 쪽의 기판에서 제어되어 배향분할 셀이 실현된다. 이 방법은 콘트라스트비를 10 이상으로 유지할 수 있고, Photo 공정의 추가로 가격상승 및 불순물의 오염 프로세스가 증가되어 신뢰성이 결여되는 단점과 배향막의 차이에 따른 투과율-전압특성에 잔류 히스테리시스가 존재하는 단점도 있다. 하지만 러빙을 2번(상하기판 포함)처리하여 러빙공정이 줄어드는 장점이 있다.

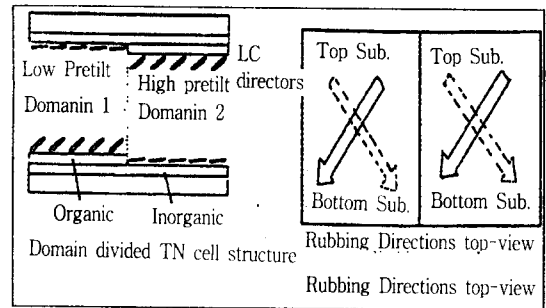


그림 5. DDTN의 원리.

Fig. 5. Principle of the DDTN mode.

(3) C-TN(Complementary Twisted Nematic) Method.⁴²⁾

이 방법은 한쪽 기판만을 배향분할용 러빙처리하여 배향 분할하는 방법이다(그림 6). 한쪽 기판은 저프리틸트각을 가진 배향막을 사용하고, 다른 한쪽 기판에는 고 프리틸트각을 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 Cell을 만든다. 특징으로는 상하 방향의 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(왼쪽과 오른쪽이 다름) 현상이 일어나는 점이다.

4) 옆방향 전계에 의한 배향분할방식.⁴³⁾

SETN(Surrounding Electrode TN) 방식이라 하며, 이 방식은 배향처리에 의한 배향분할과는 별도로 화소 전극의 구조를 바꾸어 줌으로서 전계를 제어하여 배향분할을 행하는 방법이다. 파선으로 표시되는 TFT 기판의 화소전극과 ITO중앙에 구멍을 낸 공통전극으로 셀을 구성한다. 화소전극 중앙부의 구멍부와 TFT 화소전극 주위부에서는 옆

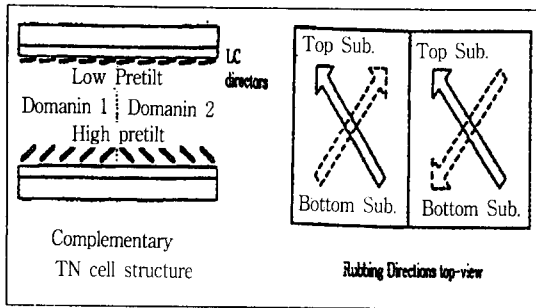


그림 6. C-TN의 원리.

Fig. 6. Principle of the C-TN mode.

방향 전계에 의해 브릿지 전계가 발생한다. 양기관 리빙처리 방향을 역 tilt, 즉 약한 splay 상태가 되도록 하였을 때, 셀에 전압이 인가되면 액정이 일어나는 방향은 양방향으로 거의 같은 확률로 된다. 이러한 셀에 브릿지 전계의 효과가 더해지면 이것에 의해 액정의 tilt 방향이 결정된다. 이 작용에 의해 한 개의 화소에 액정의 배향을 2분할로 할 수가 있다. 이 방법은 TN 뿐만 아니라 Homotropic 방식에도 적용된다. Homeotropic 방식에서는 기관에 대하여 수직으로 배향하지만, 전압이 인가되면 액정이 쓰러지는 방향을 제어하기 위해 조금의 프리틸트각이 필요하다. 이 브릿지 전계가 그 역할을 담당한다. 이 방식에서는 리빙이 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 상하 방향 $\pm 45^\circ$, 좌우방향 $\pm 55^\circ$ 가 실현되고 있다.

5) a-TN(Amorphous - Twisted Nematic) 방식⁴⁰⁾

이 랜덤배향법은 고바야시 연구팀(日本, 東京農工大學)에 의하여 제안되었다. 이 방법은 분할 수를 더 증가시키기 위하여 랜덤한 미소한 Domain으로 화소를 분할하여 시야각 의존성을 개선하는 방법이다. 이 방법은 배향분할의 가장 이상적인 형태이며, 또 제작공정도 간단하고 앞으로 여러 가지 방법으로 연구가 전개될 것이 기대된다. 특히 Domain의 크기를 제어하는 것이 큰 과제로 남아 있다.

이 방식은 멀티도메인법으로서 배향막의 리빙을 하지 않고 유동배향을 막기 위해 등방상으로 액정을 주입한다. 실온으로 되돌아가 네마틱상으로 될 때에 액정은 수 μm 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 수많은 존재하는 디스크리네이션의 무제가 남은 과제일 것이다.

6) ASM(Axially Symmetric Aligned Microcell) 방식⁴⁵⁾

ASM 방식은 액정의 혼합으로 상분리현상을 이용하여 중합수지와 액정자체의 배향력을 이용하여 실현한다. 이ASM 방식에서 각 화소에 액정의 마이크로셀(micro-cell)을 만들기 위해서 Polymer Wall이 UV광선으로 형성된다. 편광자는 서로 직교 상태로 사용된다.

액정재료에서 카이럴 혼합물은 액정분자를 양기관 사이에서 90° 비틀리게 하기 위하여 도프한다. 이 셀의 광학 리타데이션인 $\Delta n \cdot d$ (Δn :액정의 복굴절, d :액정셀의 두께)은 450nm 로 설정되는데, 이는 첫 번째 최소상태를 만족시키기 위해 Gooch와 Tarry에 의해 제안된 것과 비슷한 방법으로 계산되는 것이며, 축방향의 대칭적 director 분배를 고려한 것이다.

그림 7에서 Polymer Wall의 형성은 각 화소에서 아주 중요한 역할을 한다. 이는 셀에 압축하는 힘으로 발생하는 액정의 축방향으로 대칭적인 배향과괴를 막는다.

셀이 회전할 때 ASM 방식 셀은 정지한 상태(0V)에서 광학편광현미경으로 보면 Shieren texture와 편광자 축사이의 각관계는 변하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이러한 관찰을 통해 액정분자들이 축방향으로 대칭적 배향을 한다고 생각할 수 있다. 이러한 ASM방식은 광시야각 특성이 좋으며, 밝은 표시기능 뿐 아니라 높은 콘트라스트비를 갖는다. 하지만 이 ASM 방식은 제작공정이 복잡한 것이

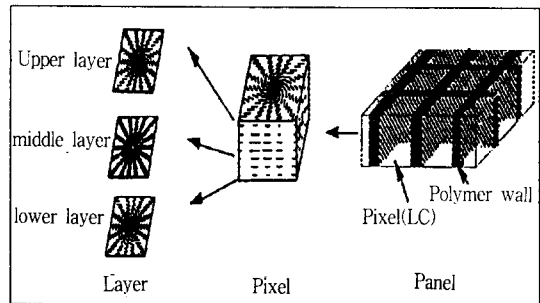


그림 7. ASM의 원리.

Fig. 7. Principle of the ASM mode.

과제이다. 최근, 이 방식을 이용하여 모든 방향에 대하여 시야각도가 70° 인 LCD를 개발하여 실용화에 박차를 가하고 있다.

7) IPS(In-Plane Switching) 방식 ⁴⁶⁾

IPS 방식은 Interdigital electrode 분야의 연구자들에 의해 약 20년간 연구되어 왔으나, Baur에 의해 최초로 제안되었으며, 제15회 액정국제회의에서 최초로 발표되었다. 이 당시에는 IPS 방식에서 자세한 스위칭 작용과 액정의 물리적 특징을 잘 이해할 수 없었지만, 최근에는 이러한 것들이 실험적으로 잘 설명이 되어지고 있다. IPS 방식의 원리는 그림 8 에서 나타난 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 나타낸다.

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 오페크표면적(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 필

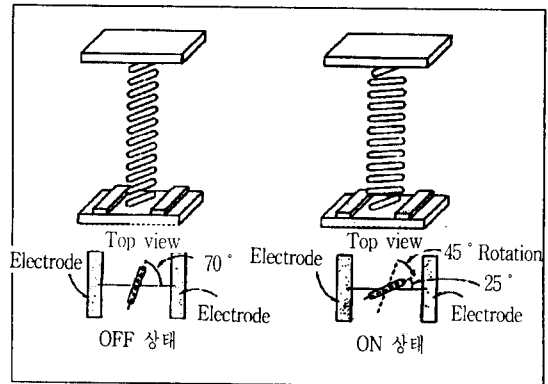


그림 8. IPS방식의 원리.

Fig. 8. Principle of the IPS mode.

요 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 Compensated 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 상징하는데, 실체는 이중 2장을 밴드배향의 액정 셀로, 나머지 1장은 일축성 위상차필름으로 한다. 여기서 액정에 안정된 밴드배향을 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 밴드배향셀과 이축성(biaxial) 위상차필름을 삽입한 구조가 된다.

이 밴드배향셀은 전압을 가하지 않은 상태에서는 보다 안정된 퍼진배향(splay alignment)을 취하기 때문에 최초로 6V정도의 전압을 수초에서 수분간 가해 밴드배향으로 전이시킬 필요가 있다. 그 후 화소마다에 화상의 명암에 응해 2~6V의 전압을 가한다.

이러한 밴드배향셀은 1~10ms정도의 빠른 응답속도를 얻을 수 있고 시야각특성이 우수하다. 아직 액정재료의 물리상수는 최적화된 것은 아니지만

수평·수직 양쪽에서 상하 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.

앞으로 액정분자를 밴드배향시키고 또 3차원의 광확보상을 하기 위해서는 액정재료의 물성상수, 액정분자의 프리틸트각, 바이어스전압, 2축성 위상차필름의 각 굴절률과 두께 등을 정밀히 최적설계할 필요가 있다.

9) PDN 방식(Polymer dispersed LCD with crossed Nicols Mode) ⁴⁷⁾

폴리머 분산형 액정은 대칭적인 배향성을 가지고 있다. 액정분자의 배열이 액정상의 형상을 가지고 결정되기 때문에 수직 방향의 복굴절의 보상부분만 아니라 화소내의 방향성은 해소될 수 있다. 이 성질을 이용하여 시야각 의존성을 감소시킨 것이 PDN 방식이다. 구조는 서로 직교한 편광판으로 폴리머 분산 액정셀을 사이에 둔 구성이다. 전압이 인가되지 않을 때는 액정은 폴리머의 벽쪽에서의 anchoring, 벽면의 형상 등의 영향을 받아 불규칙적으로 배열되어 있다. Polaizer를 통과한 직선편광은 이 액정을 통과하면 각 광속마다 각자의 편광작용을 받아 편광성이 잃어지게 된다(消編효과). 이 때문에 analyzer를 통과할 성분이 생겨 명상태의 표시로 된다. 또한, 전압이 인가되면 액정분자가 일어나기 때문에 입사광의 편광상태는 변화하지 않고 직선편광이 그대로 analyzer에 도달하지만 직교 배치의 층내에서는 消編효과와 散亂효과가 동시에 생긴다. 여분의 산란광이 없고 밝은 표시를 얻기 위해서는 전압을 인가하지 않았을 때 消編효과가 크고 그리고, 散亂효과는 작은 것이 필요하다. 이 때문에 액정재료와 액정 Droplet size의 최적화가 이루어지고 있다. PDN 방식은 정면방향에서 콘트라스트는 100:1 이상이다. 경사진각 45도에서도 30:1 이상의 콘트라스트가 얻어진다.

10) 신방식 단순매트릭스 LCD 방식

신방식 단순매트릭스 LCD 방식은 응답속도가 빠르고, 콘트라스트비가 높고, 시야각이 넓다는 특징이 있다. IPS 방식과 같이, 액정분자를 면내에 누이는 상태에서 표시하기 때문이다. 단, 동작방식은 약간 다르다. 패널구조는 종래의 STN-LCD와 같다. 원리를 그림 9에 나타내었다. 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

OFF 상태이다. 여기서 수 V이상의 전압을 인가하면 액정분자가 기판과 수직으로 일어서고 20V 정도의 전압을 인가하면 액정분자는 한 번 일어서지만, 연속하여 약 5V의 전압을 인가하면 비틀림각도가 0°의 상태, 약 3V의 전압을 인가하면 360°의 상태로 변화한다. 이 2상태를 ON 상태/OFF 상태로 한다. 전압을 끊어도 2상태는 수초간 안정하게 된다(준안정 상태). OFF 상태를 ON 상태, ON 상태를 OFF 상태로 변화시킬 때에는 같은 방법으로 전압을 인가하여 액정분자를 인가하여 구동시킨다.

일반 STN-LCD는 전압을 인가하여 OFF 상태에서 ON 상태로 변화하려면 약 100ms 이상의 시간이 필요하다. 이것에 비하여 새로운 방식에서는 0°의 준안정 상태에서 360°의 준안정 상태로 변화하기 위해 필요한 시간이 약 4ms 정도로 빠르다. 즉, 응답속도가 빠르다. 현재, TFT-LCD에서도 응답속도는 약 수십 ms 정도밖에 되지 않는다. 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 셀 두께를 2μm 정도로 하지 않으면 안되기 때문에 셀

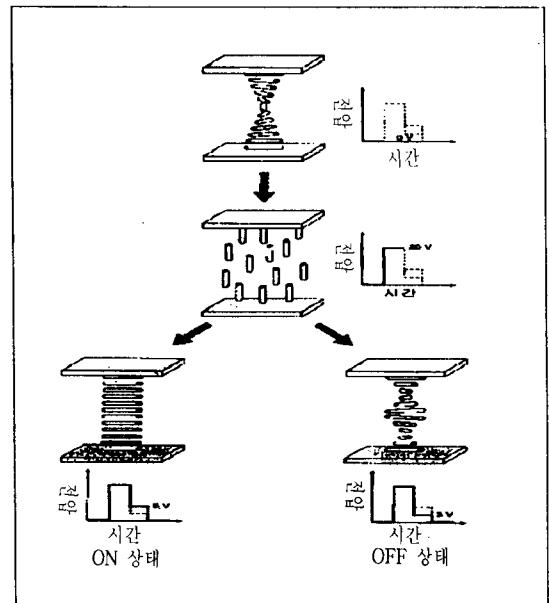


그림 9. 신방식 단순매트릭스 LCD의 원리.

Fig. 9. Principle of new-type simple matrix LCD mode.

두께의 오차로 인한 표시얼룩 등의 문제가 예상되어진다.

이상과 같이 LCD 소자의 시야각특성을 개선하기 위하여 많은 방법들이 제안되고 있다. 이 방법들의 시야각 특성 및 장단점을 표 3에 나타낸다. 이 방법들을 보면 서로 장단점을 가지고있어 앞으로는 사용되는 분야에 따라서 필요한 방식을 선택하여 응용할 것으로 생각되어진다. 일반 노트북PC 등에는 광확보상법이, 워크스테이션용에는 IPS방식이 유력한 후보로 거론되고 있으며 향후 이외의 방식의 기술개발 여부에 따라 상황이 많이 바뀌어질 수 있을 것으로 전망된다.

표 3. LCD소자의 광시야각 기술의특징
Table 3. Characteristics of the wide viewing angle on LCD modes.

광시야각 기술	도메인 수	배향 각	시야각	콘트라스트비	생산성	단점	비고
일반 TN 방식	1	러빙	좌우 90° 상하 40°	○	○	시야각 협소 상하반전	
광확보상법	1	러빙	좌우 120° 상하 90°	○	○	투과율 저하	양쪽면 필름이용
화소분할법	부화소	러빙	좌우 110° 상하 90°	◎	△	가격 상승	
멀티도메인법	2	러빙	좌우 100° 상하 60°~70°	○	△~ ×	러빙 4번	TDTN
	2	러빙	"	○	△~ ×	C-V특성에 잔류히스테리시스 존재	DDTN
	2	러빙	"	○	△~ ×	임계치 가이동	C-TN
	4	러빙	좌우 120° 상하 100°	○	△~ ×	제조공 정증가	
	2	LV 배향	좌우 100° 상하 90°	○	◎	신뢰성 문제	
	4	"	좌우 120° 상하 100°	○	○	"	
	모든 방향	넢러빙	좌우 120° 상하 100°	△	◎	투과율 저하 도메인 제어	a-TN

	모든 방향	넢러빙	좌우 140° 상하 140°	○	○	제작 공정 복잡 신뢰성	ASM
옆방향 진계법	1	러빙	좌우 110° 상하 90°	○	○	추가공 무없	
IPS 방식	1	러빙	좌우 140° 상하 140°	△	○	구동 전중 간조 표시 때의 응답 속도 가문 제	면내의 전계를 이용
OCB 방식	1	러빙	좌우 100° 상하 120°	○	○	벤드 배향 문제	
PDN 방식	1	넢러빙	좌우 120° 상하 100°	○	○	신뢰성	PDLC 방식 이용
신방 식단 순메 트릭 스 LCD 방식	1	러빙	좌우 140° 상하 140°	○	○	중 간조 표시 가 문 제	STN 방식 을 용 답 속 도가 높음

4. 차세대의 LCD 기술 및 액정배향기술

차세대의 고성능 LCD를 실현시키기 위해서는 다음과 같은 요구조건이 필요하다.⁴⁶⁾

- 1) 넢러빙액정배향처리에 의한 제조 공정의 감소 및 고성능 LCD의 실현
- 2) 편광판을 사용하지 않는 밝은 표시를 가진 LCD의 실현
- 3) back-light를 사용하지 않는 저소비 전력용 LCD의 실현

그리고, 액정배향기술은 종래의 러빙법에 대신하여 광배향 제어기술의 개발이 기대되어지며, 이 배향법을 이용한 고성능 도트 매트릭스 LCD 소자의 개발이 큰 기대를 모을 것으로 기대되어진다.

5. 결 론

본 논문에서는 최근 LCD 소자에 있어서 큰 이슈로 등장한 표면 액정배향기술 및 광시야각 기술에 관하여 설명하였다. 표면 액정배향기술에 있어서는 종래의 러빙법에 대신하여 편광된 자외선을 조사하여 액정분자를 배열시키는 광배향제어법이 큰 기대를 모으고 있으며, 이 기술은 프리틸트각 발생제어기술과 신뢰성이 과제로 남아있다.

광시야각 기술에 있어서는 최근까지 여러 방식이 제안되어 왔으며 그 중에서도 현재로는 광확보 방법, IPS 방식 등이 실용화가 진행되고 있다. 그러나 향후 다른 방식의 기술발전 여부에 따라 상황이 변화될 것으로 예상된다. 각각의 방식에 따라 서로 장단점을 지니고 있어 향후 이용분야에 따라 용도를 나누어서 응용될 것으로 기대되어 진다. LCD 소자는 이러한 기술개발의 결과로 평판디스플레이 소자 중에서 더욱 확고한 위치를 확보할 것이며 더 많은 시장성을 점유할 것으로 전망된다. 이상으로 본 논문에서는 LCD 소자의 표면액정 배향기술 및 광시야각 기술에 관하여 해설하였으며 표면액정 배향기술에 관하여는 간단히 소개하였으나 이 내용에 관하여는 다음 기회에 상세히 소개하기로 한다.

※ 본 연구는 과학기술처에서 시행한 국가선도기술개발사업(G7 연구개발사업)의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. M. Schadt and W. Helfrich, Appl. Phys. Lett., Vol. 18, 127, 1971.
2. T. J. Scheffer and J. Nehring, Appl. Phys. Lett., Vol. 45, 1021, 1984.
3. Y. Yabe, H. Yamada, T. Yoshihara, A. Mochizuki, and Y. Yoneda, SID '91 Digest, 261, 1991.
4. N. A. Clark and S. T. Lagerwall, Appl. Phys. Lett., Vol. 36, 899, 1980.
5. J. L. Ferguson, SID '85 Digest, 68, 1986.
6. J. Cognard, Mol. Cryst. Liq. Cryst. Supplement 1, 1, 1982.
7. J. Janning, Appl. Phys. Lett., Vol. 21, 2045, 1990.
8. T. Sugiyama, S. Kuniyasu, D.-S. Seo, H. Fukuro, and S. Kobayashi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 29, 2045, 1990.
9. D.-S. Seo, K. Muroi, and S. Kobayashi, Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 213, 223, 1992.
10. D.-S. Seo, S. Kobayashi, and M. Nishikawa, Appl. Phys. Lett., Vol. 61, 2392, 1992.
11. D.-S. Seo, H. Matuda, T. Oh-ide, and S. Kobayashi, Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 224, 13, 1993.
12. D.-S. Seo, Y. Iimura, and S. Kobayashi, Appl. Phys. Lett., Vol. 61, 234, 1992.
13. D.-S. Seo, T. Oh-ide, H. Matsuda, T. Isogami, K. Muroi, Y. Yabe, and S. Kobayashi, Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 231, 95, 1993.
14. D.-S. Seo, N. Yoshida, S. Kobayashi, M. Nishikawa, and Y. Yabe, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, L1174, 1994.
15. D.-S. Seo and S. Kobayashi, Appl. Phys. Lett., Vol. 66, 1202, 1995.
16. D.-S. Seo, K. Araya, N. Yoshida, M. Nishikawa, Y. Yabe, and S. Kobayashi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, L503, 1995.
17. D.-S. Seo and S. Kobayashi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, L786, 1995.
18. 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.
19. D.-S. Seo, K. Muroi, T. Isogami, H. Matasuda, and S. Kobayashi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 31, 2165, 1992.
20. D.-S. Seo, N. Yoshida, S. Kobayashi, M. Nishikawa, and Y. Yabe, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, 4876, 1995.
21. H. Fukuro and S. Kobayashi, Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 163, 157, 1988.
22. D.-S. Seo, S. Kobayashi, and A. Mochizuki, Appl. Phys. Lett., Vol. 60, 1025, 1992.
23. D.-S. Seo, M. Nishikawa, Y. Yabe, and S. Kobayashi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, L1214, 1995.
24. M. Schadt, K. Schmitt, V. Kozinkov, and V. Chigrinov, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 31, 2155, 1992.
25. W. M. Gibbons, P. J. Shannon, S.-T. Sun, and B. J. Swelin, Nature, Vol. 351, 49, 1991.
26. Y. Iimura, T. Saitoh, S. Kobayashi, and T. Hashimoto, J. Photopolym. Sci. Technol., Vol. 8, 257, 1995.
27. M. Hasegawa and Y. taira, J. Photopolym. Sci. Technol., Vol. 8, 241, 1995.
28. D.-S. Seo and J.L.West (in preparation)
29. Y. Kawata, and Y. Mori, 21th Japanese Liquid Crystal Conference (Sendai, september, 1995) 348.
30. D.-S. Seo, T. Oh-ide, and S. Kobayashi,

- Mol, Cryst. Liq. Cryst. Vol. 214, 97, 1992.
31. D.-S. Seo, S. Kobayashi, M. Nishikawa, J.-H. Kim, and Y. Yabe, Appl. Phys. Lett., Vol. 66, 1334, 1995.
 32. D.-S. Seo, S. Kobayashi, D.-Y. Kang, and H. Yokoyama, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, 3607, 1995.
 33. Y. Hisatake, J. Hirata, M. Ishikawa, T. Yamamoto, H. Hatoh, The Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineering C-II, Vol. J76-C-11(No.5), 322, 1993.
 34. N. Yamagishi, H. Watanabe, and K. Yokiyama, Proceedings of the 9th IDRC (Kyoto, October, 1989), 316.
 35. H. Hatoh, M. Ishikawa, Y. Hisatake, J. Hirata, and T. Yamamoto, Journal of SID, Vol. 1(No. 3), 1, 1993.
 36. H. Mori, Japanese Liquid Crystal Conference (Sendai, September, 1995), 298.
 37. H. Mazaki, Y. Satoh, Y. Kobori, T. Kaminate, T. Toyooka, and H. Itoh, 21th Japanese Liquid Crystal Conference (Sendai, September, 1995), 300. 38. H. Hatoh, M. Ishikawa, J. Hirata, Y. Hisatake, and T. Yamamoto, Appl. Phys. Lett., Vol. 60(15), 1806, 1992.
 39. K. R. Sarma, R. I. McCartney, B. Heinze, S. Aoki, Y. Ugai, T. Sunata, and T. Inada, SID '91 Digest, 555, 1991.
 40. K. H. Yang, IDRC '91 Digest, 68, 1991.
 41. Y. Koike, T. Kamada, K. Okamoto, M. Ohashi, I. Tomit, and M. Okabe, SID '92 Digest, 798, 1992.
 42. K. Takatori, K. Sumiyoshi, Y. Hirai, and S. Kaneko, IDRC '92 Digest, 591, 1992.
 43. A. Lien and R. A. John, SID '93 Digest, 269, 1993.
 44. Y. Toko, T. Sugiyama, K. Katoh, Y. Iimura, and S. Kobayashi, SID '93 Digest, 622, 1993.
 45. N. Yamada, S. Kohzaki, F. Funada, and K. Awane, SID '95 Digest, LP-5, 575, 1995.
 46. M. Oh-e, M. Ohta, S. Aratani, and K. Konde, Asia Display '95 (Hamamatsu, October, 1995), 577.
 47. H. Yoshida, M. Ohashi, I. Timita, and M. Okabe, IDRC '92 Digest, 631, 1992.
 48. D.-S. Seo, 평판 디스플레이 소재와 제조기술 및 개발동향, 과학기술정보 연구소, 50, 1996.

저자소개



서대식

1963년 12월 16일생. 1989년 동경농공대학(일본) 전자공학과 졸업. 1991년 동대학 대학원 전자정보공학과 졸업(공학수사). 1994년 동대학 대학원 전자정보공학과 졸업(공학). 1993년-95년 일본학술진흥회 특별 연구원. 1994년-95년 Kent

State Univ. 액정연구소 연구원. 1995년 9월- 현재 숭실대학교 전기공학과 전임강사. 1992년 제5회 안도우회로시기념학술장려상 수상(일본). 본 학회 영문편수위원.

□ 1996년도 9월호의 기술해설 제목과 저자는 다음과 같으니 많은 참고 바랍니다.

題 目	著 者 및 所 屬
용융탄산염형 연료 전지의 연구 동향	김귀열 (한국전기연구소)
신질연 재료의 연구 동향	조돈찬 (광운대학교) 홍진웅 (광운대학교)