

빛살무늬 화소전극으로 액정투영기에 쓰이는 액정판의 허용공차를 키우는 방법

노봉규 · 양병관

세심광전자기술

Ⓣ 440-050 경기도 수원시 장안구 영화동 422-16

김진승[†]

전북대학교 자연대학 과학기술학부, 광전자정보기술연구소

Ⓣ 561-190 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

(2001년 4월 16일 받음, 2001년 5월 22일 수정본 받음)

액정투영기(LCD Projector)의 핵심 구성요소인 액정판에서 액정층의 두께 변화는 광투과도를 변화시켜 화질을 크게 떨어뜨리는 중요한 변수이다. 이 논문에서는 액정판의 화소전극에 빛살무늬를 만들면 액정층의 두께변화를 광학이방성의 변화가 보상하여 계조별 광투과도의 변화를 줄일 수 있음을 보였다. 전산시뮬의 결과는 현재의 액정판에 비해 액정층 두께변화의 허용공차를 50% 이상 키울 수 있음을 보여준다. 이 방식은 TN 모드와 같이 유전률 이방성이 양성인 액정을 쓰는 경우에 적용할 수 있다.

분류코드 : DT.010.

I. 서 론

액정투영기(LCD projector)는 휘도가 아주 높은 광원에서 나오는 빛을 모아 액정판에 비추어주고, 이로부터 반사/투과되는 빛을 투영광학계를 써서 화면에 비추어 줌으로써 커다란 화면을 구성하여 보여주는 대화면 표시장치이다. 액정판은 아주 미세한 화소단위로 나누어져 있으며, 각 화소의 반사/투과도는 독립적으로 조절할 수 있게 되어있는데, 현재 널리 보급되고 있는 것은 화소수가 1024×768인 XGA급이다. 액정투영기의 시장규모는 2005년에 천만대 이상으로 예상되어 탁상용 TFT LCD에 버금가는 주요 표시소자로 자리매김할 것으로 기대되고 있다.^[1] 앞으로 교육정보화가 추진되면 모든 교실에 인터넷에 연결된 컴퓨터의 다중매체 자료를 액정투영기를 통해 보여주는 시설이 갖추어질 것이므로 교육환경의 기본시설재로서 전세계적으로 대량수요가 생길 것이다. 현재 우리나라가 전세계의 표시소자산업을 선도하는 것을 고려하면 액정투영기의 핵심소자에 관한 연구도 매우 중요하다.

액정투영기는 화면표시방식과 장치구성에 쓰이는 액정판의 수에 따라서 구분할 수 있다. 화면표시방식에 따라서 나누면 반사형과 투과형이 있는데, 반사형은 액정판의 반사도 분포에 따라 반사된 빛을 광학계로 투영하여 화면을 구성하는 것으로서, 대표적인 보기는 실리콘 기판 위에 능동소자(active device)를 두는 LCOS(Liquid Crystal On Silicon)이다. 투과형은 액정판을 투과한 빛을 광학계로 투영하여 화면을 구성하는 것으로서,

대표적인 보기는 석영기판 위에 다결정 실리콘으로 능동소자를 만드는 고온 폴리 TFT LCD 투영장치이다.

액정투영기에 들어가는 액정판의 수에 따라서 나누면 액정판이 한장 들어있는 단판식과 빛의 삼원색인 붉은색(R), 초록색(G), 파란색(B)에 대응하여 세 장의 액정판이 들어있는 삼판식이 있다.^[2] 단판식 액정투영기는 광원의 색을 R, G, B로 시간에 따라 바꾸면서 각 화소의 투과도를 각 색깔에 맞게 변조하거나 또는 R, G, B색을 변조하는 3개의 화소가 가까이 있기 때문에 액정층의 두께 변화에 따른 투과율 차이는 없고 해도, 배경색 자체의 색좌표는 크게 변화하지 않는다. 그러나 광원의 색을 시차를 두면서 차례로 바꾸는 방식은 눈의 피로도가 아주 크고, 화소구동 속도가 세배로 높아져야 하는 부담이 있으며, 삼원색 화소가 가까이 있는 경우에는 같은 해상도에서 화소의 크기가 1/3으로 아주 작아져, 제작공정이 미세해지므로 해상도를 높이기 어려운 불리함이 있다. 이를 피하기 위해 액정판을 크게 만드는 경우 투영광학계의 설계 등에서 어려움이 생기며, 각 화소의 최대투과도가 30%이하로 줄어들어 화면이 어두워진다. 삼원색 빛에 대해 독립적인 액정판을 쓰는 삼판식의 경우에는 이러한 불리한 점이 사라진다.

액정투영장치는 해상도가 더 높고, 화면의 움직임이 더 빠르며, 화면이 더 밝은 것이 요구되고 있으며, 이러한 방향으로 기술개발이 진행되고 있다. 단판식 보다는 삼판식이 성능개선과 기술적 발전 가능성이 크기 때문에 앞으로는 거의 대부분의 액정 투영기가 삼판식으로 바뀔 것으로 예상된다. 그런데 삼판식 액정투영기에서는 세 색깔의 빛을 각각 다른 액정판에서 변조하기 때문에, 액정층의 두께변화에 따라 광투과율과 색

[†]E-mail: jin@moak.chonbuk.ac.kr

좌표가 함께 변한다. 따라서 삼판식 액정투영기를 만드는 경우에는 액정층의 두께 변화를 단판식보다 더 정밀하고 엄격하게 관리해야 한다. 특히 반사형 액정투영기 경우에는 빛이 액정층을 두 번 지나가기 때문에 투과형보다 액정층의 두께에 대한 허용 범위가 더욱 좁아진다. 액정층의 두께가 고른 액정판이라도, 액정투영기 광학계 속에서 광원에 가까운 쪽의 액정판면이 그에 마주보는 쪽의 면보다 온도가 높아 열팽창이 달라지고, 그 결과 액정층의 두께가 달라져 화면 특성의 변화가 있다는 논문 발표도 있다.^[3]

이러한 문제점과 연구결과는 액정층의 두께를 고르게 유지하는 기술 또는 표시특성이 액정층의 두께 변화에 대해 크게 달라지지 않는 구동방식을 찾아내는 것이 중요함을 시사한다. 액정투영기에 쓰이는 LCOS나 투과형 고온폴리 TFT LCD판은 액정층의 두께의 허용 공정공차가 좁아 생산수율이 약 70% 이하로 알려져 있다. 따라서 액정층의 두께변화에 둔감한 구동방식 또는 액정판의 화소구조 개발은 생산수율 향상과 화질개선을 위해 매우 중요하다.

이 논문에서는 액정층의 두께의 변화에 의한 광학적 특성변화를 억제하는 방법으로서 화소 전극에 빛살무늬를 만들어 그 주변에 생기는 측면전기장의 효과를 이용하는 방법을 제안한다. 그리고, 이러한 구조로 액정판을 만들었을 때의 액정판의 공정 변수 변화에 대한 투과율 변화와 표시 특성에 미치는 여러 요소를 종합 분석한다.

II. 모형수립

빛살무늬가 있는 화소전극은 다중영역(multi domain) 수직배향(VA: Vertical Alignment)모드에 많이 써 왔다.^[4,5] 그림 1과 같은 전극 구조에서 빛살무늬가 있는 화소전극 부근의 A에 유도되는 전압 V는, A점에 플로팅 된 미세 전극이 있다고 가정할 때 아래 식과 같이 얻어진다.

$$V = \frac{C_1 V_1 + 2C_2 V_2}{C_1 + 2C_2} \quad (1)$$

여기에서 C₁은 플로팅 된 미세전극과 공통전극 사이의 축적용량이고, V₁은 공통전극의 전압이다. C₂는 플로팅 된 미세전극과 화소전극 사이의 축적용량이고, V₂는 화소전극의 전압이다.

액정층이 얇아지면, C₁이 커지므로 플로팅 된 미세 전극 A에 유도되는 전압은 공통전극에 걸린 전압쪽으로 움직인다. 플로팅 된 미세 전극과 화소전극 사이의 측면 전기장은 액정층이 얇아질수록 커진다. TN(Twist Nematic)형 LCD의 투과율은 액정의 굴절률 이방성 Δn과 액정층의 두께 d의 곱인 Δnd

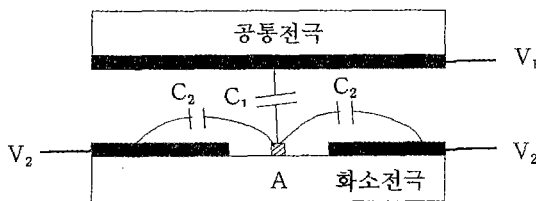


그림 1. 빛살무늬가 있는 화소전극에 유도되는 전압.

의 함수이다. 화소전극과 공통전극에 일정한 전압이 걸린 상태에서, 액정층이 얇아지면 빛살무늬 부분에 측면전기장이 커지므로 액정의 굴절률 이방성이 커져, d와 Δn이 서로 보상하는 효과가 있다.^[6,7]

III. 전산시능

전산시능에서 쓴 화면의 크기는 0.7", 표시모드는 XGA급이며, 화소의 크기는 가로 세로 모두 14 μm이다. 신호선의 폭은 2 μm, 화소전극과 신호선 사이는 전경선을 고려하여 좌우 1.5 μm, 1.0 μm 간격으로 두었다. 그림 2는 전산시능 한 화소전극의 모양이다.

신호선에 유도되는 전압은 공통전극에 걸리는 전압으로 가정하였다. 액정분자의 배향방향은 빛살무늬에 대한 수직방향으로 정했다. 빛살무늬의 폭과 화소전극의 폭은 액정층의 두께와 화소의 피치 그리고 구동전압을 고려하여 최적화해야 한다. 화소전극의 폭(w)은 1.5 μm이고, 슬릿의 폭(v)은 2.5 μm였다. 표 1은 전산시능에서 쓴 액정의 물성이다.

액정층의 꼬임각은 90°이고, 선경사각은 7°로 가정하였다. 그림 3은 기존의 TN모드의 전기광학투과 곡선이다.

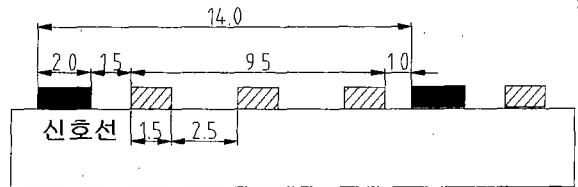


그림 2. 화소전극의 단면 모양.

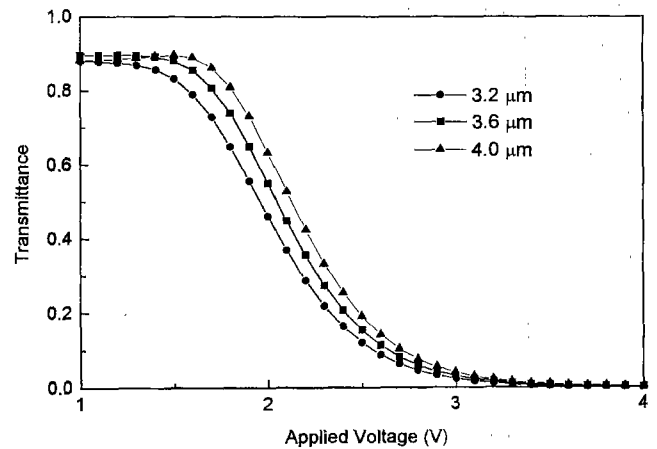


그림 3. 현재 쓰이는 TN모드의 전기광학투과곡선.

표 1. 액정의 물성값

물성항목	값
탄성계수	K ₁₁ = 1.3pN, K ₁₁ = 6pN, K ₁₁ = 18pN
유전상수	e _⊥ = 3.7, e = 13.7
회전점성계수	γ = 0.1
굴절률	n _o = 1.47, n _e = 1.605 (550 nm)

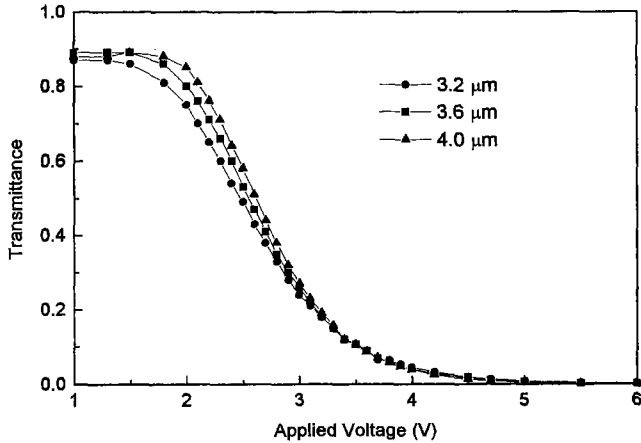


그림 4. 화소전극에 빗살무늬가 있는 액정판의 TN모드의 전기광학 투과곡선.

액정층의 두께는 Δnd 가 550nm에서 분광투과곡선의 첫번째 최소값인 3.6 μm 를 기준으로 정하고, 액정층의 두께가 $\pm 0.4 \mu\text{m}$ 변했을 때의 전기광학곡선을 나타내었다. 액정층이 두꺼울수록 같은 구동 전압에서 투과율이 높은 것을 알 수 있다. 그림 4는 빗살무늬가 있는 경우의 전기 광학투과 곡선이다.

투과율이 10%가 되는 전압 3.5 V 근방에서는 액정층의 두께 변화에 대한 광투과율 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 걸어준 전압이 3.5 V 이하에서는 액정층이 두꺼울수록 투과율이 높지만, 그 이상에서는 반대로 액정층이 얇을수록 투과율이 높다. 이는 빗살무늬 주위의 측면전기장의 영향으로, 액정의 분자의 수직배열이 억제된 것으로 볼 수 있다. 투과율이 90%가 되는 전압인 V_{90} 과 투과율이 10%인 전압 V_{10} 은 액정판의 표시특성을 나타내는 중요한 변수이다. 두 전압의 사이를 유효구동전압영역(effective dynamic range)이라고 부른다. 다른 물성상수의 값이 변화하지 않는다면, 유효구동전압영역이 클수록 혼신(cross-talk)과 화면떨림(flicker) 특성이 개선된다. 유효구동전압 영역이 그림 3에서는 약 1.0 V이고 그림 4에서는 약 1.6 V로 빗살무늬가 있는 액정판이 화면떨림과 혼신 특성에서 개선되어 화질이 우수하다는 것을 예측할 수 있다. 해상도가 높을수록 배선에 의한 측면전기장의 영향을 줄이기 위하여 액정층을 얇게 한다. 액정층이 얇을수록, 굴절률 이방성과 유전을 이방성이 커지므로, 유효구동전압영역이 작아져 화질이 떨어지는데, 빗살무늬를 두면 유효구동전압을 크게 할 수 있다.

그림 5는 그림 3과 그림 4를 토대로 $\gamma=2$ 일 때의 액정층의 두께에 따른 상대 투과율 변화를 계조별로 나타낸 것이다.

액정층의 두께가 3.6 μm 였을 때를 기준으로 하였다. 기존의 90° TN은 계조단계가 낮을수록 액정층의 두께변화에 따른 투과율 변화가 커지지만, 빗살무늬가 있는 경우에는 192계조를 정점으로 계조가 낮아질수록 액정의 두께변화에 대한 투과율 변화가 줄어드는 것을 알 수 있다. 특히 화면불량 검사를 하는 방법은 광투과율이 50%가 되는 계조 전압을 걸어준 상태에서 액정판 전체의 투과율 분포를 살펴보는 것인데, 액정층

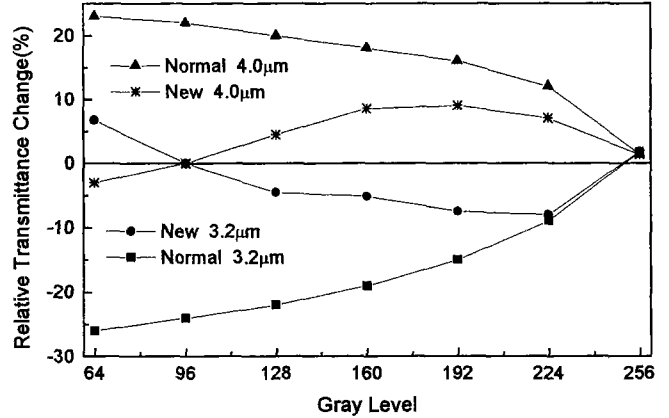


그림 5. 계조별 상대 투과율 변화.

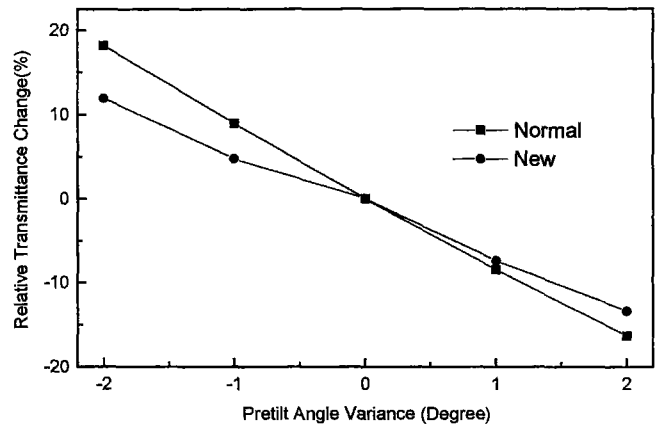


그림 6. 선경사각 변화에 따른 상대 투과율 변화.

의 두께가 $\pm 0.4 \mu\text{m}$ 변할 때의 투과율 변화는 90° TN에서는 약 35%이지만, 빗살무늬 전극이 있는 경우에는 약 17% 정도이다. 그러므로 빗살무늬 전극을 쓰면 액정층 두께의 허용공차가 약 100% 정도 커진다.

미세렌즈배열(MLA: Micro Lens Array)을 쓰는 경우에는 MLA의 초점의 중심선과 빗살무늬의 중심선을 맞추면, 정렬오차에 의한 투과율 변화를 최소로 줄일 수 있다. MLA가 있는 경우에는 빗살무늬 부분의 투과율만 이용하므로 액정층 두께변화에 따른 투과율 변화가 MLA가 없는 경우에 비하여 적다.^[8]

그림 6는 투과율이 50%되는 전압에서 선경사각 변화에 따른 투과율 변화를 나타내고, 그림 7은 러빙각의 변화에 따른 투과율 변화를 나타낸다.

선경사각 $\pm 2^\circ$ 변화에 대한 투과율의 변화는 90° TN에서는 약 34%이지만, 빗살무늬 전극을 쓰는 경우에는 약 25%로 크게 감소한다. 러빙각 $\pm 2^\circ$ 변화에 대한 투과율의 변화는 90° TN에서는 약 14%이지만 빗살무늬 전극을 쓰는 경우에는 약 12.3%로 감소한다. 이처럼 투과율 변화가 줄어드는 까닭은 빗살무늬 전극 때문에 생겨난 측면전기장이 액정분자의 배향을 조절하므로 선경사각이나 러빙각의 변화에 의한 광투과특성의 변화를 완화시키는 것으로 추정된다.

해상도가 높을수록 배선의 측면전기장 때문에 생기는 전경

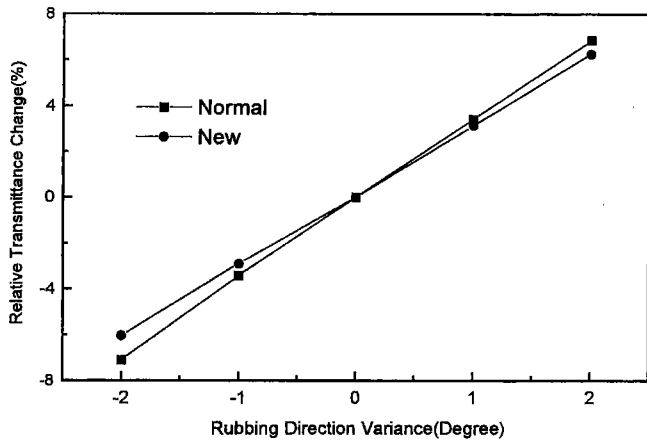


그림 7. 러빙각 변화에 따른 상대 투과율 변화.

선이 표시 특성에 많은 영향을 준다. 전경선에 대한 영향을 보려면 3차원 액정 배향분포를 계산해야 하는데, 이 논문에서 전산시능에 쓴 Shintek사와 Autronic사의 소프트웨어로는 2차원 배향분포 밖에 할 수 없으므로 현재로서는 정확한 분석이 어렵다. 앞으로 액정판의 전기광학적 특성을 더 정밀하게 분석하려면 액정분자의 배향분포를 삼차원적으로 계산해낼 수 있는 소프트웨어를 개발해야할 것이다. 신호선에 유도되는 전압은 구동방법에 따라 다르지만, 신호선도 다중주사를 할 경우, 공통전극에 유도되는 전압이 걸리므로, 신호선과 화소전극 사이의 측면 전기장은 주사선에 비하여 약하다. 액정의 배향방향과 빗살무늬의 수직방향을 나란히 둘 경우, 빗살무늬에 의한 측면 전기장이 배선의 측면 전기장이 화소 내부로 영향을 주는 것을 어느 정도 억제하므로, 전경선이 생기는 영역이 배선에 가까이 있게 되어, 빗살무늬가 전경선에 대한 영향을 줄인다. 0.5" XGA급 이상으로 해상도가 아주 높은 경우에는 빗살무늬를 공통전극에 두어 전경선의 영향을 피할 수도 있을 것이다.^[9]

액정셀의 응답특성은 화소전극에 빗살무늬가 있으나 없으나 별다른 차이가 없었다. 구동전압의 범위가 차이가 나더라도 빗살무늬 부분은 수직 전기장이 작고, 화소전극이 있는 부분에는 수직 전기장이 크기 때문에 평균하면 수직전기장의 변화가 거의 같기 때문이다.

IV. 결 론

액정투영기의 핵심요소인 액정판에서 액정층의 두께변화에 대한 허용공차를 늘릴 수 있는 방법을 제안하고, 전산시능을 통해 타당성을 확인했다. 지금까지 써 오고 있는 90도 TN모드와 이 논문에서 제안한 화소전극에 빗살무늬가 있는 90도 TN모드에 대하여 전산시능한 결과를 비교해 보면 화소전극에 빗살무늬를 넣은 액정판에서 공정공차를 더 크게 허용할 수 있음을 확인하였다. 특히 액정판의 기본 공정변수인 액정층의 두께, 포임각, 러빙각 가운데 액정층의 두께에 대한 허용 공정공차는 50% 이상 커진다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 두뇌한국21사업의 지원을 받아 수행한 연구의 결과임.

참고문헌

- [1] 日本經濟出版社 편집부, FLAT PANEL DISPLAY 2001(日本經濟出版社, 동경, 2001), pp. 178-183.
- [2] 노봉규 외, LCD ENGINEERING(성안당, 서울, 2000), pp. 307-310
- [3] G. S. Ho, C. R. Ou, C. J. Yoo, "The optical performance of liquid crystal under cell gap variations in the projection display system," *Proc. IDW '00*, pp. 1045-1048, 2000.
- [4] N. Koma, R. Nishikawa, "Development of simple process to fabricate high-quality TFT-LCDs," *SID '96 Digest*, pp. 558-561, 1996.
- [5] A. Lien *et al.*, "Wide viewing angle TFT-LCD based on ridge and fringe-field multi-domain homeotropic structure," *Proc. Asia Display '98*, pp. 375-378 1998.
- [6] Bong Gyu Rho *et al.*, "A new wide-viewing-angle VA-mode LCD with a simpler cell fabrication process," *Proc. IDW '99*, pp. 195-198, 1999.
- [7] 노봉규, "액정표시소자," 대한민국 특허출원(1998).
- [8] 노봉규, "액정셀의 두께 공차가 큰 고 해상도 액정표시소자," 대한민국 특허출원(2000).
- [9] 노봉규, "미세렌즈가 부착된 액정표시소자," 대한민국 특허출원(2000).

**Increase of cell-gap tolerance for LC panels used in LC projectors
by introducing slit patterns in pixel electrodes**

Bong-Gyu Rho and Byeong-Kwan Yang
Sesim Photonics Technology Ltd., SuWon 440-050, KOREA

Jin Seung Kim
*School of Science and Technology; Institute of Photonics and Information Technology,
Chonbuk National University, Chonju 561-190, KOREA*

(Received April 16, 2001 ; Revised manuscript received May 22, 2001)

The quality of images displayed by using an LC projector is strongly influenced by the cell-gap variations over LC panels, the essential components of the projector. We show that such influence can be relieved by introducing slit patterns in the pixel electrodes in the LC panels. The improvement comes from the compensation of the influence of cell-gap variations by optical anisotropy variations arising from the lateral components of the electric field generated by the slit patterned electrodes. Simulations show that cell-gap tolerance can be increased by more than 50% by introducing the slit patterns. This method can be used in TN mode LC panels, which use LC's with positive dielectric anisotropy.

Classification code : DT.010.