

액정 매트릭스 표시기의 제작 (Fabrication of Liquid Crystal Matrix Display)

裴政烈*, 安亨根, 權寧世**
(Jeong Ryeol Bae, Hyeong Keun Ahn and Young Se Kwon)

要約

유리기저에 실크스크린 인쇄기법을 이용하여 투명전극형성용 유기점액인 ITO와 silver paste 로써 투명전극 및 금속 전극을 형성하고 SiO 막을 입혀서 액정 매트릭스 표시기를 제작하였다.

Rubbing technique 로 액정분자를 유리기저에 평행으로 배열시키고, 액정의 동적산란현상을 이용하여 3:1 주조지정방식으로 한글, 알파벳, 숫자 등의 표시를 시도하였다.

제작된 6μm 두께의 표시기에 전압을 변화시키면서 그에 따른 응답파형을 관찰하였다.

Abstract

Liquid crystal matrix display is fabricated. ITO transparent electrode and silver paste metal electrode are coated on glass substrate using silk screen printing technique, and SiO is coated on the transparent electrode by evaporation.

Liquid crystal molecules are aligned by rubbing technique and displays of Alphanumeric and Hangul are tried using the dynamic scattering effect and the 3:1 selection method.

I. 序論

액정의 전기광학적 성질을 이용하여 간단한 표시기로부터 오실로스코프나 텔레비전과 같은 복잡한 액정 표시기를 제작할 수 있다. 본 논문에서는 알파벳, 숫자, 한글 등을 표시할 수 있는 액정 매트릭스 표시기를 실제로 제작하고 그 성질을 관찰하였다.

액정이란 액체와 같은 유동성을 가지나 광학적인 관점에서는 고체결정과 같이 비등방성(anisotropy)을 나타내어 그 성질이 고체와 액체의 중간적인 성질을 나타내는 물체를 가르킨다.^[1]

액정의 이와같은 특성을 이용한 액정표시기는 전력 소모가 매우 적으며 주위가 밝은 곳에서 잘 나타나고

설계가 용이해 형태를 다양하게 할 수 있으며 동작전압이 낮기 때문에 집적회로와 직접 결합하여 사용할 수 있는 장점이 있다.^[2]

반면에 액정은 제한된 온도영역에서만 동작이 가능하고 임계전압이 뚜렷하지 않으며 응답시간이 느린 단점이 있다.

본 연구에서는 알파벳과 한글을 표시하기 위해 유리기저에 투명전극과 금속전극을 형성하여 액정표시기를 제작하고 인가전압에 따른 응답파형을 관찰하였다.

II. 액정의 특성

1. 액정(Liquid Crystal)

액정에는 일정 온도범위에서만 중간자적 성질을 갖는 온도성 중간자와 보통의 등방성용체에 녹여서 충분한 농도가 될 때 형성되는 용해성 중간자가 있다. 기본적인 연구로부터 온도 및 압력 센서등 기술적인 측면에 많이 응용되는 것은 온도성 중간자로서^[3] 분자배열의 특성에 따라 Nematic, Cholesteric 및 Smectic 의 세 종류로 나뉘어진다. 이 중 기술적으로 가장 많

*正會員, 韓國電子技術研究所
(Korea Institute of Electronic Technology)

**正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., KAIST)

接受日字: 1983年 4月 22日

이 응용되는 것은 Nematic 액정으로써 일반적인 분자 배열 및 구조는 그림 1과 같다. $20\text{\AA} \times 5\text{\AA}$ 정도의 길쭉한 분자모양을 가지고 있는 Nematic 액정은 분자와 분자의 상호작용 즉, 수소결합, Van der waal의 상호작용, dipole interaction과 같은 physico-chemical process와 anisotropic elasticity인 mechanical interaction에 의해 길이방향으로 강한 결합을 하여 서로 평행으로 균일하게 배열되는 특성이 있으며 보통의 극성액체와는 달리 분자들의 협조적 상승력에 의해 전계와 자계의 영향으로 쉽게 원하는 방향으로 분자를 배열시킬 수 있다. 본 연구에 사용된 액정은 Nematic액정 중 상온에서 액정상태인 MBBA (P-Methoxybenzylidene-p'-n-butylaniline, $21^\circ\text{C} \sim 47^\circ\text{C}$)로서 그림 1(c)에 그 분자구조가 나타나 있다.

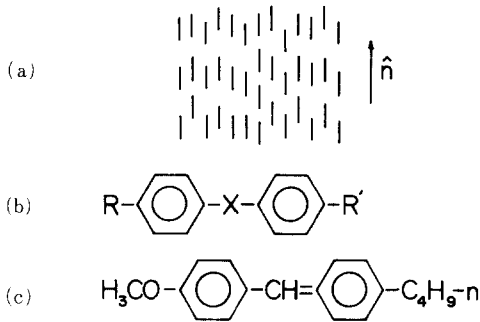


그림 1. (a) Nematic 액정의 분자배열, (b) 분자구조 (c) MBBA의 분자구조

Fig. 1. (a) Molecular arrangement of Nematic Liquid Crystal (NLC), (b) Structure of NLC and (c) Structure of MBBA.

2. 동적산란현상(Dynamic Scattering Effect)

액정의 물리적 성질은 전계, 자계 및 열에너지와 같은 외부로부터의 약한 자극에 민감하게 반응하여 전기광학적인 효과를 유발한다. 전기광학적 현상에는 Field-Induced Birefringence, Twisted Nematic Effect, Cholesteric-to-Nematic Transition, Dynamic Scattering, Storage Mode 및 Guest-Host Effect 등이 있는데 본 연구에서는 동적산란현상을 이용하였다.

동적산란현상은 dielectric anisotropy가 음($\Delta\epsilon < 0$)인 Nematic 액정에서 나타나는 현상으로 액정의 전기적 저항은 $1 \sim 2 \times 10^{10}\Omega\text{-cm}$ 보다 작아야 한다. 이는 전압이 인가되면 생기는 electrohydro dynamic flow에 의한 현상이다. 전압이 가해지면 음의 전극으로부터

터 양의 전극으로 space charge가 이동하면서 액정에 힘을 가해 분자배열이 흐트러지게 된다. 이때 인가된 전압이 충분히 커서 규칙적인 배열을 지속하려는 유전력 및 탄성력보다 space charge에 의한 충격력이 커지게 되면 규칙적인 분자배열은 무너지고 액정 분자는 빛을 산란시키게 된다. Space charge에 의한 압력은 식(1)에서와 같이 전압에 비례하고 cell의 두께에 반비례한다.

$$\Delta P = \rho E = \rho \cdot \frac{V}{d} \tag{1}$$

여기서,

ρ = net space charge density

v = 인가전압

d = cell의 두께

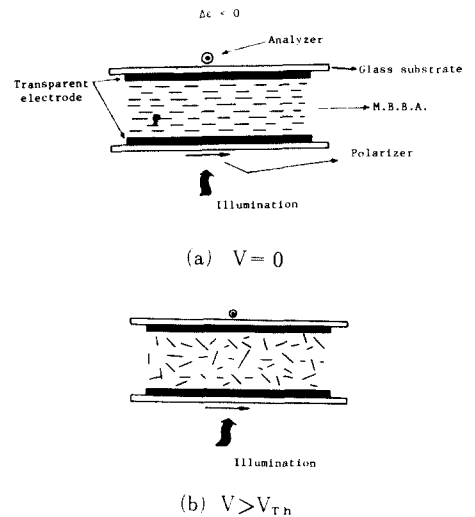


그림 2. 동적산란현상

Fig. 2. Dynamic scattering effect.

동적산란현상에 의한 표시기의 동작상태가 그림 2에 나타나 있다.

전압을 가하지 않은 상태($v=0$)에서 액정분자는 그림 2(a)에서와 같이 균일 수평배열을 하며 빛을 가하게 되면 빛은 액정분자와 같은 위상을 가진 polarizer는 통과하지만 이와 90° 의 위상차가 있는 analyzer는 통과하지 못하므로 표시기는 검게 나타난다. 인가전압이 임계치를 넘게되면 그림 2(b)에서와 같이 액정분자는 세멋대로의 배열을 하게되고 이 경우 액정층을 통과하는 빛은 산란을 일으키게 되고 이 빛의 산란에 의해 polarizer를 통과한 빛의 일부가 analyzer와 동위상이 됨으로써 표시기가 희고 뿌옇게 나타난다. 동적

산란현상의 임계전압은 식(2)와 같다.

$$V_w^2 = \frac{V_o^2}{\xi^2 - 1} = \frac{\frac{\pi^2}{\Delta\epsilon \cdot \epsilon_o} \frac{\epsilon_r}{\epsilon_i} K_{33}}{\left[1 - \frac{\Delta\epsilon_r}{\Delta\epsilon} \frac{1}{1 + \frac{\eta_o}{\gamma_1}} \right] \left| 1 - \frac{\sigma_r \epsilon_r}{\sigma_o \epsilon_i} \right| - 1} \quad (2)$$

여기서,

$\eta_o, \gamma =$ viscosity coefficient

$\tau = \frac{\epsilon_r \epsilon_o}{\sigma} =$ dielectric relaxation frequency

K33 = bend elastic constant

$\epsilon_1, \epsilon_2 =$ perpendicular and parallel dielectric constant

$\sigma_1, \sigma_2 =$ perpendicular and parallel conductivity

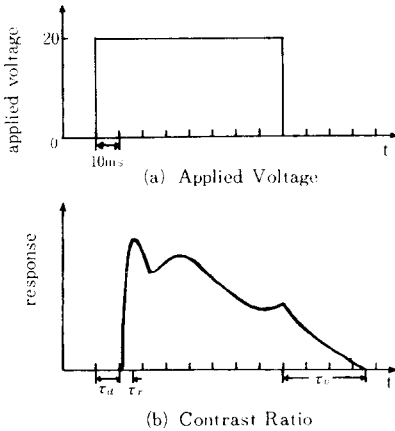


그림 3. 구형파에 대한 응답파형

Fig. 3. Transient waveform for an applied square wave.

3. 과도응답 (Transient Response)¹⁴⁾

액정표시기의 양단에 구형파를 인가했을때 응답파형은 그림 3과 같다. 전압을 가한 후 지연시간(τ_d)가 지나 산란이 시작되어 상승시간(τ_r)이 지난 뒤 initial peak에 도달한다. 전압을 제거하면 하강시간(τ_o)이 지난 후 산란이 없어진다. 규칙적인 배열을 지속하려는 유전력 및 탄성력과 배열을 깨뜨리려는 space charge의 압력사이의 힘의 조화에 의해 initial peak와 ringing 및 전압제거후 순간적인 빛의 증가가 나타난다. 응답시간은 가해진 전압, 온도 및 cell의 형태에 따라 식(3)과 같이 나타난다.

$$\tau_r = \eta \left(\frac{\epsilon_1 - \epsilon_r}{4\pi} E^2 - Kq^2 \right)^{-1}$$

$$\tau_o = \frac{\eta}{Kq^2} \quad (3)$$

단, $\eta =$ viscosity constant

$q = f(E) =$ disturbance wave-vector

$K =$ elastic constant

상승시간과 하강시간은 전압이 증가할수록, cell 두께가 작을수록 작은 값을 나타내며 지연시간은 변화가 거의 없다.

4. 주소지정방식

매트릭스 표시기의 주소 지정방식에는 element-at-a-time 방식과 line-at-a-time 방식이 있다.¹⁵⁾ Element-at-a-time 방식은 간단하여

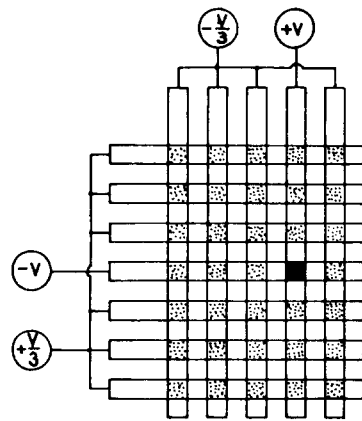


그림 4. 3 : 1 주소지정방식

Fig. 4. 3 : 1 selection method.

편리하지만 전극의 수가 많아지면 line-at-a-time 방식을 사용해야만 한다. 이 방법은 M개의 column과 N개의 row에 M+N개의 단자만 연결시키면 된다. 그 종류로는 2 : 1 방식, 3 : 1 방식, 두개의 주파수방식, 비선형물질 제어방식 등 여러가지가 있다.

그림 4는 본 연구에서 사용된 3 : 1 주소 지정방식을 나타내는 것으로서 dot matrix액정표시기를 구동시키기 위해서 한 번에 한 column씩 구동시키는 scan type이 사용되는데 그 원리는 다음과 같다. 선택하려는 element에는 V volt가, 그 외의 element에는 $\frac{V}{3}$ 가 걸리게 전압을 인가함으로써 임계치보다 큰 V volt가 걸리는 element는 빛을 산란하게 되고 임계치보다 작은 $\frac{V}{3}$ volt가 걸리는 element는 산란이 되지 못한다. 이 방법은 2 : 1 방식과는 달리 off-element가 모두 $\frac{V}{3}$ volt로 같은 전압이 걸리게 됨으로써 on-element와 off-element와의 구별이 선명하게 된다(2 : 1 방식의 경우 on-element는 V volt, off-element는 $\frac{V}{2}$ volt와 0 volt가 걸리게 되어 3 가지 경우가 생긴다).

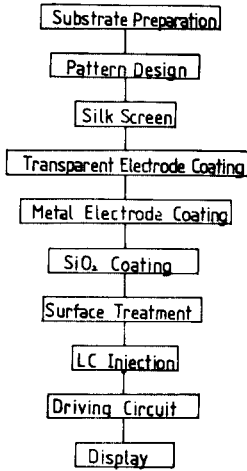


그림 5. 소자제작의 순서
Fig. 5. Sequence of device fabrication.

III. 표시기의 제작 및 구동회로 구성

1. 액정 매트릭스 표시기의 제작

Device의 제작과정은 그림5와 같다.

Substrate는 표면이 아주 평편한 유리 substrate가 요구된다. 액정표시기의 전극을

에 실크스크린 인쇄기법으로 투명전극과 금속 전극을 형성한다. 이때 사용된 투명전극의 재료는 투명전극형성용 유기점액인 ITO (Indium Tin Oxide - organic compound가 유기단속에 녹아있는 형태)로서 사각 furnace에서 520°C로 80분간 가열시킴으로써 유기물질을 제거시켜 투명한 도전층인 투명전극을 만들었다. 금속 전극의 재료는 silver paste로서 사각 furnace에서 515°C로 40분간 가열시켜 금속전극을 형성시켰다.

유리기저에 형성된 전극의 손상을 방지하기 위해 SiO를 진공증착기를 이용하여 coating 시킨다.

Dynamic scattering을 이용하여 표시기를 동작시키기 위하여 액정분자를 균일하게 배열시켜야 한다. 여기에 사용한 방법은 rubbing technique으로서 솜을 이용하여 표면을 가볍게 밀어주어 미는방향과 같은 방향으로 액정분자를 배열시킨다. Spacer로서 6µm 두께의 mylar sheet를 두 유리 기저사이에 끼우고 polarizer와 analyzer를 90° 위상차가 나게 두 유리기저에 밀착시킨다. 그리고 모세관 현상을 이용하여 액정을 주입시킨다. 이때 사용된 액정은 Nematic 액정인 MBBA로서 resistivity가 $5 \times 10^9 \Omega - cm$ 이다.

제작된 매트릭스 액정표시기가 그림7에 나타나 있다.

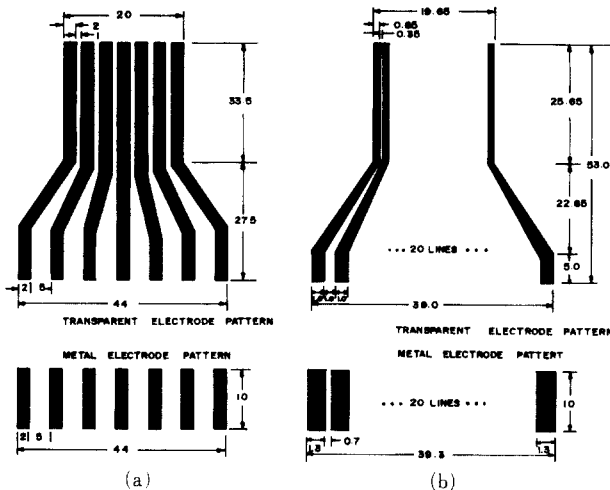


그림 6. 설계된 전극 형태
Fig. 6. Designed electrode pattern.

형성하기 위해 전극의 형태를 설계하여 실크스크린을 제작한다. 설계된 전극은 그림6과 같다. Device 1 (7×5 dot matrix)의 경우 element의 크기는 2×2 mm²이며 device 2 (12×9 dot matrix)의 경우 element의 크기는 0.625×0.625mm²이다.

준비된 유리기저를 초음파 세척기로 세척한 후 그위

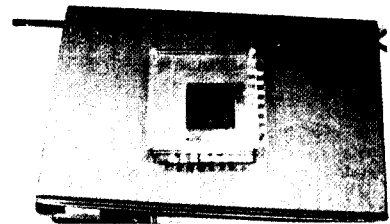


그림 7. 제작된 매트릭스 액정표시기
Fig. 7. Fabricated matrix LCD.

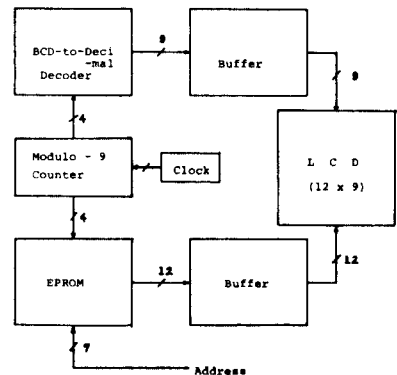


그림 8. 구동회로의 블럭 다이어그램
Fig. 8. Block diagram of driving circuit.

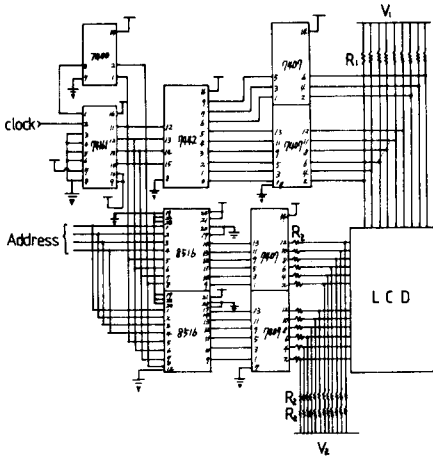


그림 9. 구동회로
Fig. 9. Driving circuit.

2. 구동회로 구성

제작된 구동회로의 블록 다이어그램과 구동회로는 그림 8, 그림 9와 같다.

Counter에 클럭이 인가되면 device 2의 경우 0000에서 1001까지(device 1의 경우는 0000에서 0110까지) 변하게 되고 BCD-to-decimal decoder에 가해지면 decimal coder로 바뀌어 나타나고 buffer를 거쳐 column을 0에서 8까지(device 1은 0에서 6까지) 차례로 scan하게 된다.

한글을 디스플레이시키기 위해 EPROM(erasable programmable read only memory)를 이용하여 한글 데이터를 store시킨뒤 디스플레이하려는 글자의 주소를 지정함으로써 buffer를 거쳐 한글 데이터를 표시기의 row에 입력시키는데, 알파벳과 숫자의 경우는 EPROM 대신 ASCII ROM을 사용하면 된다. Counter의 출력이 ROM부분에 가해지면 어떤 column이 select되는 순간 그 column에 해당하는 데이터가 row에 가해지는데 이것이 column 0에서 column 8까지 차례로 반복됨으로서 표시기에 한글 또는 알파벳이 나타나게 된다.

이때 스캔 라인과 데이터 라인에 인가되는 전압의 비율 $V_1:V_2 = 2:3$ 으로 해줌으로서 on-element는 V_2 의 전압을 off-element에는 $1/3 V_2$ 의 전압을 인가하여 구동회로를 3:1 주소지정방식으로 동작되게끔 하였다.

V. 실험결과 및 검토

실제로 제작된 device에 구동회로를 연결하고 알파벳과 한글을 디스플레이시켰다.

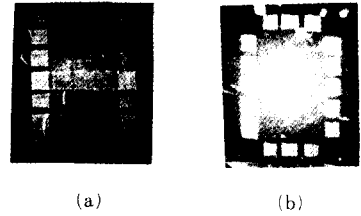


그림 10. 결과사진(알파벳 표시)
Fig. 10. Displayed output (alphabet display).

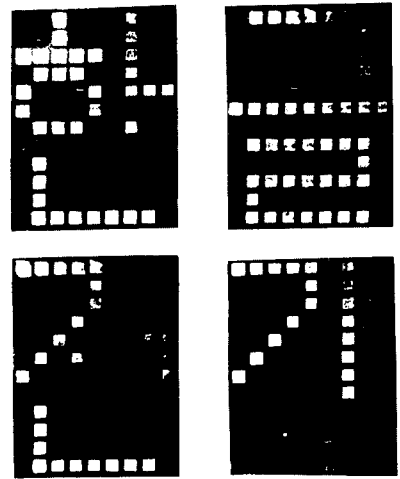


그림 11. 결과사진(한글표시)
Fig. 11. Displayed output (Hangul display).

V_1 과 V_2 의 전압을 변화시키면서 실험을 한 결과 device 1의 경우는 V_1 이 20volt, V_2 가 30volt, 클럭의 주파수가 60Hz일때 가장 양호했으며 device 2의 경우는 V_1 이 12.5 volt, V_2 가 17.5volt, 클럭의 주파수가 20Hz일 때 가장 양호했다.

액정표시기에 디스플레이된 알파벳을 그림 10에, 한글을 그림 11에 나타내 보였다.

그림 10과 그림 11에서 알 수 있듯이 액정표시기의 표면상태가 불량하며 bubble이 약간 생겼으며 crosstalk 현상도 나타난다. 또한 액정의 느린 응답시간에서 기인되는 flicker 현상도 나타났다.

그림 10(b)의 경우는 back lighting 현상으로 인해 글자분간이 어려움을 알 수 있다. 이 현상을 없애기 위해서는 광원의 빛을 균등하게 분산시키는 ground glass나 paper sheet가 필요하다. 그림 10(a)에서 ground glass를 사용함으로써 back lighting 현상이 개선된 것을 알 수 있다.

표면상태의 불량 및 bubble의 존재는 device 제작시 substrate의 오염 및 rubbing시의 표면손상에서 기인

된 것으로서 substrate의 오염은 먼저 초음파 세척기로 2시간 정도 cleaning하여 불순물을 완전히 제거한 뒤 전극형성을 해야하며 각 과정마다 아세톤에 넣고 20분정도를 끓여서 불순물을 제거하는것이 필요하다. 또한 제작장소의 청결유지와 액정표시기 제작전용 사각 furnace의 확보가 필요하다.

Crosstalk 현상은 on-element는 물론 off-element에도 약간의 전압이 걸림으로 인해 빛의 산란이 일어나는 현상으로 액정 자체가 뚜렷한 임계전압을 가지고 있지 못하므로 3 : 1 주소지정방식에서는 어쩔수 없이 나타나는 현상이다. 이는 매트릭스 디스플레이가 linear하기 때문에 생기는 현상으로^[6] nonlinear device인 MOS switch를 이용한 FETC scheme^[6]으로 써 해결이 가능하다. 그림12에 FETC scheme의 한 부분을 나타내었다. 이것은 FET와 capacitor를 이용한 방법으로서 FET의 on-off에 따라 capacitor가 charge 되면 V의 전압이 걸리게 되고 discharge 되면 0의 전압이 걸리게 되어 on-element는 빛을 산란하게 되고 off-element는 빛의 산란을 전혀 못하게 되어 crosstalk 현상이 사라지게 된다.

Flicker 현상은 액정의 응답시간이 느리기 때문에 나타나는 현상이다. 본 연구에 사용된 액정의 하강시간 120ms로서 눈의 잔상을 고려한 경우 스캔 펄스의 주기가 180ms 이하여야 한다. 즉 클럭의 주파수가 column이 9개인 경우 50Hz 이상이어야 한다. On-element에 17.5V가 가해진 경우 지연시간과 상승시간의 합이 50ms 정도로서 20Hz 이하의 클럭이 필요하게 되어 20Hz 클럭을 사용한 경우 flicker 현상이 나타나게 된다. On-element에 가해주는 전압을 30V 이상으로 하면 지연시

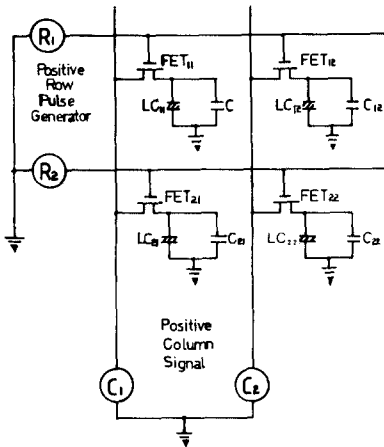


그림 12. FETC 도식
Fig. 12. FETC scheme.

간과 상승시간의 감소로 flicker 현상은 없어지게 되는 반면에 crosstalk 현상이 더 심해진다. 이 현상의 해결을 위해서도 앞에서 제시한 FETC scheme으로 가해진 펄스의 전압을 capacitor에 hold시켜 지속적인 산란을 일으키는 방법이 요구된다.

제작된 액정표시기의 과도응답을 알아보기 위해 그림 13과 같은 측정장치를 준비하고 액정표시기 및 오실로

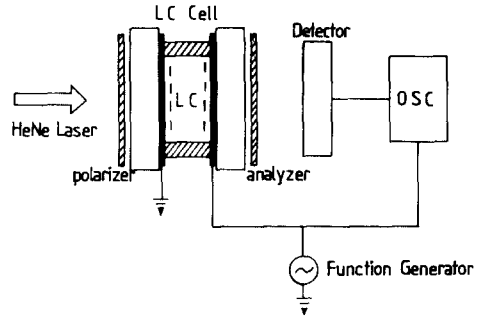
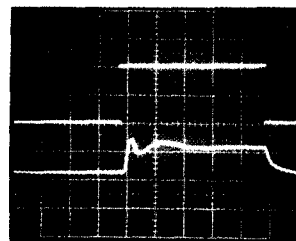
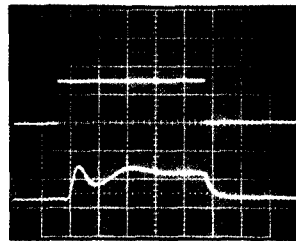


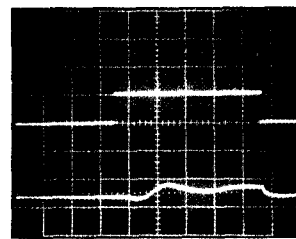
그림 13. 응답파형의 측정장치
Fig. 13. Instrument for transient response measurement.



(a) V=20v.
5v/div.
100ms/div.



(b) V=15v.
5v/div.
100ms/div.



(c) V=10v.
5v/div.
100ms/div.

그림 14. 응답파형
Fig. 14. Transient response.

스코프에 구형파를 인가하고 HeNe 레이저를 비추면서 analyzer를 통과한 빛을 photo detector로 detect하여 오실로스코프에 그 파형을 나타내 보았다. $6\mu\text{m}$ 두께의 액정표시기에 1Hz, 20Vpp의 구형파를 인가했을 때 나타나는 파형은 그림 14 (a)와 같다. 15Vpp, 10Vpp인 경우는 그림 14 (b) 및 (c)와 같다. 이는 그림 3과 잘 일치한다.

전압을 변화시키면서 측정된 지연시간 및 상승시간은 그림 15와 같았다. 이도 역시 이론과 잘 일치한다.

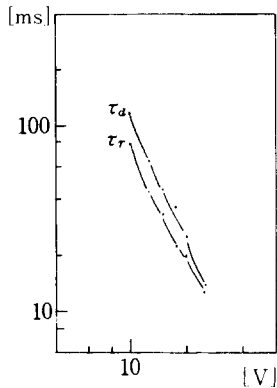


그림 15. $6\mu\text{m}$ 두께의 MBBA 액정표시기의 지연시간과 상승시간

Fig. 15. Delay time and rise time of $6\mu\text{m}$ -thick MBBA liquid crystal display.

VI. 結 論

액정의 동적산란현상을 이용한 매트릭스 액정표시기를 제작하고 3 : 1 주소지정 방식으로 한글 및 알파벳을 디스플레이시켰다. 그 결과 bubble이 생기고 crosstalk 및 flicker현상이 일어남을 알 수 있었다. 이 문제점의 해결을 위해 MOS 스위치를 이용한 FETC scheme이 요구되며 이 방법을 이용함으로써 많은 수

의 element들을 구동하는 flat panel 디스플레이가 가능해진다.

제작된 $6\mu\text{m}$ 두께의 액정표시기로써 응답파형을 관찰하였는데 파형의 모양은 그림 14와 같이 나타났으며 응답시간은 전압이 증가함에 따라 점차 감소하는 것을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

- [1] G.H. Heilmeyer, L.A. Zanoni, and L.A. Barton, "Dynamic scattering: a new electrooptic effect in certain classes of nematic liquid crystals," *Proc. IEEE*, vol. 56, no. 7, pp. 1162-1171, July 1968.
- [2] A.R. Kmetz, "Liquid crystal display prospects in perspective," *IEEE Trans. Elec. Dev.*, vol. ED-20, pp. 954-961, Nov. 1973.
- [3] E.B. Priestley, P.J. Wojtowicz, and P. Sheng, *Introduction to Liquid Crystals*, RCA Laboratories, Princeton, New Jersey, 1974.
- [4] L.T. Creagh, A.R. Kmetz, and R.A. Reynolds, "Performances characteristics of nematic liquid crystal display devices," *IEEE Trans. Elec. Dev.*, vol. ED-18, no. 9, pp. 672-679, September 1971.
- [5] B.J. Lechner, F.J. Marlowe, and E.O. Nester, "Liquid crystal matrix displays," *Proc. IEEE*, vol. 59, no.11, pp. 1566-1579, Nov. 1971.
- [6] Alan Sobel, "Some constrains on the operation of matrix displays," *IEEE Trans. Elec. Dev.*, pp. 797-798, Sep. 1971.