

대전입자형 디스플레이의 대전입자층 제어와 구동

이동진^{1*}, 김영조¹

A charged particles layer control and driving of Charged Particle Type Display

Dong-Jin Lee^{1*} and Young-Cho Kim¹

요약 대전입자형 디스플레이는 높은 대조비와 넓은 시야각 그리고 빠른 응답속도를 가졌다. 본 연구에서는 음전하를 띤 노란색 대전입자와 양전하를 띤 검은색 대전입자를 사용하여 화상을 표시하였으며, 기존의 혼합된 대전입자를 충전하는 방식과는 대비 패널의 상판과 하판에 형성된 셀에 두 대전입자를 전계에 의해 각각 어드레싱하였다. 그리고 상판과 하판을 합착한 후 Aging을 하여 패키징을 하였으며, 합착된 패널은 전극 설계에 의해 4 채널의 전극에 Matrix 구동을 했다. 패널에 충전되는 layer 수는 최소 2 layer가 요구되며, 본 연구에서는 대전입자의 layer는 격벽의 높이로 조절하였다. 패키징된 패널의 상판에 양의 전압을 인가한 결과, 노란색 대전입자는 상판의 전극으로 이동하고 검은색 대전입자는 하판의 전극으로 이동하였다.

Abstract The charged particle type display have characteristics of high contrast ratio and wide viewing angle, quick response time. We used the yellow(-) and the black(+) colored particles, which is respectively addressed to the cells of upper and rear panel by using electric field. Our independent addressing method has strong points compared to the mixed particle putting method. After addressing, we packaged two panels and did aging process, and then panel is driven by matrix method of four channel electrodes. Layers of particles are controlled by height of cell barriers and needed minimum two layers. When positive voltage is applied to the upper electrode, the yellow particles with negative charge move toward the upper substrate and the black particles with positive charge move toward opposite direction.

Key Words : e-paper, charged particles, memory effect, layer control, addressing

1. 서론

전자종이(e-paper)는 기존의 디스플레이들과는 달리 외부의 빛이 패널표면에 반사되어 화상을 표시하는 반사형 디스플레이이다. 따라서 기존의 발광형 평판 디스플레이들과는 대비 외부에 강한 빛이 패널에 비쳐도 더욱 선명한 이미지를 나타내는 장점을 가졌다. 또한, 전자종이는 명칭이 뜻하는 것과 같이 종이의 특성을 지닌 디스플레이 장치로서 종이처럼 쉽게 휴대가 가능하고 플렉시블이 가능하며, 별도의 소비 전력 없이 메모리가 가능하다. 그리고 상대적으로 제조공정이 간단하여 적은 비용으로

대량생산이 가능하고 저전력소비로 구동이 가능한 장점을 가지고 있다.¹⁻⁴⁾

특히, 대전입자형 디스플레이는(Charged Particle Type Display) 현재 발표된 전자종이들에 대비 높은 대조비, 빠른 응답속도, 넓은 시야각 그리고 별도의 전력 소모없이 메모리효과를 나타내는 플렉시블 디스플레이이며, 빠른 기술적인 발전을 이루고 있다.⁵⁻⁷⁾

본 연구에서는 대전입자형 디스플레이의 대조비 향상과 구동전압을 낮추기 위하여 전자종이 패널에 충전되는 대전입자 layer제어에 대하여 연구하였으며, 기존의 상반된 전하를 띤 대전입자를 혼합하여 패널에 충전하는 방법과는 대비 다양한 size의 패널에 대전입자가 안정적으로 충전되고, 문턱전압을 쉽게 측정하고 구동전압을 낮추는 목적으로 패널의 상판과 하판에 형성된 셀에 양전하를 띤 검은색 대전입자와 음전하를 띤 노란색 대전입자

이 논문은 2006년도 청운대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

¹청운대학교 전산전자공학과

*교신저자: 이동진(dongjin.lee7@gmail.com)

를 사용하여 상판과 하판에 각각 어드레싱하였다. 그리고 어드레싱된 상판과 하판을 패키징을 한 후 aging하여 passive matrix 방법으로 구동하여 대전입자의 이동특성을 확인하였다.

2. 실험 방법

2.1 설계 및 패널 제작

본 연구에 사용된 패널은 그림 1과 같이 전극과 셀이 형성된 두 개의 glass 기판이 상판과 하판으로 구성되어 패널로 형성된다. 패널의 상판과 하판을 matrix로 구동하고 원활한 전압공급을 위해 투명전극인 ITO가 표면에 코팅된 glass 기판을 직사각형으로 다이싱(dicing) 하였다. 그리고 이 기판에 형성된 ITO전극을 패터닝하고 격벽으로 셀의 형성하기 위해 전극 패턴 마스크와 격벽 패턴 마스크를 각각 설계하여 제작하였다. 이때, 제작하려는 셀의 size와 같게 패터닝하려는 전극의 size를 맞추었으며, 전극의 간격도 격벽의 너비에 맞추어 설계하였다. 설계된 전극 패턴 마스크로 glass기판의 ITO를 직사각형 모형의 전극 형태로 패터닝하였으며, 패터닝된 ITO전극 표면에 중앙의 1×1 inch 안에 설계된 격벽 패턴 마스크로 격벽을 패터닝하여 정사각형의 500 μ m×500 μ m, 300 μ m×300 μ m, 150 μ m×150 μ m으로 세을 형성하였다. 격벽의 폭은 셀 size에 따라서 격벽간격을 유지하여 설계하여 제작하였다. 이와 같은 과정을 반복하여 패널의 상판과 하판을 제작하였다. 이때, 셀에 대전입자가 충전되는 layer를 컨트롤할 수 있도록 패널에 형성된 격벽의 높이를 15 μ m, 30 μ m로 다르게 제작하였다.

2.2 대전입자 어드레싱 및 패키징

이 연구에서 사용한 대전입자는 상반된 전하량을 띤 대전입자가 전기적인 힘에 의해 이동하는 것을 광학적으로 확인하기 위해서 색상이 다른 양전하를 띤 검은색 대전입자와 음전하를 띤 노란색 대전입자를 사용하였다. 두 대전입자는 원형의 형태이며, 10 μ m이하의 미세한 입자크

기를 가진다. 기존의 입자충전방법은 상반된 전하를 띤 대전입자를 동일한 비율로 혼합하여 물리적인 힘으로 충전하였다. 그러나 기존의 충전방법은 입자의 신뢰성을 확보할 수 없으며, 대전입자들이 질량과 전하량에 따라 문턱전압도 달라지기 때문에 구동을 위한 정확한 문턱전압을 측정하기가 힘들다. 본 연구에서는 기존의 혼합된 대전입자를 충전하는 방법과는 대비 상반된 전하를 띤 대전입자를 전계에 의해 패널의 상판과 하판에 각각 어드레싱을 하여 대전입자의 신뢰성을 확보했으며, 노란색 대전입자와 검은색 대전입자의 문턱전압을 측정 하였다. 그림 2는 상판에 노란색 대전입자를 어드레싱하는 방법을 나타낸 단면도이다. 그림에서 보인 함수발생기(function generator)는 본 연구를 위해 제작되었으며, 4개의 채널(Channel, CH1, CH2, CH3, CH4)이 출력되고 컴퓨터 프로그램에 의해 제어된다. 이 시스템에 의해 패널의 상판에는 노란색 대전입자를 어드레싱판을 이용하여 어드레싱판에 형성된 전극과 상판의 전극에 전압을 인가하여 상판과 어드레싱판 사이에 발생하는 전계의 힘으로 노란색 대전입자를 어드레싱 하였다. 이때, 충전되고 남은 yellow 대전입자는 충전판의 물리적인 힘으로 상판 밖으로 밀어내었다. 패널의 하판에는 검은색 대전입자를 위와 같은 공정으로 충전하되, 인가하는 전압극성만 반대극성으로 인가했다. 대전입자충전이 완료되면, 상판의 전극과 하판의 전극이 서로 교차하도록 직각의 형태로 위치시키고 상판과 하판의 셀이 서로 어긋나지 않도록 유지한 후 상판과 하판 사이에 어드레싱된 대전입자가 이동할 수 있도록 spacer를 두고 합착하였다. 그리고 어드레싱되는 대전입자의 layer 컨트롤과 특성 확인을 위해 제작된 15 μ m, 30 μ m의 높이를 가진 셀에 이와 같은 공정으로 두 대전입자를 각각 어드레싱하였다. 패키징공정이 완료되면, 패널의 상판과 하판 가장 자리에 드러난 전극 부분을 전압을 공급할 수 있도록 외부 전극패드 부분을 도전성 테이프로 형성하였다.

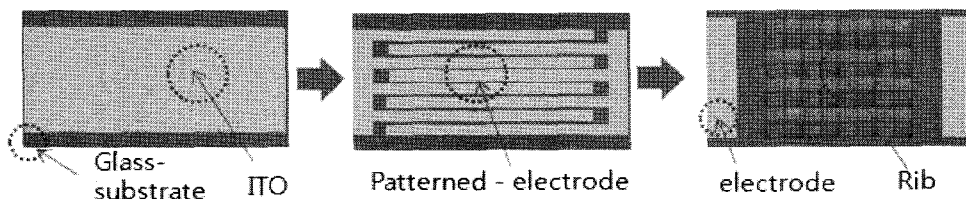


그림 1. 패널의 상판과 하판 제조공정 단면도.

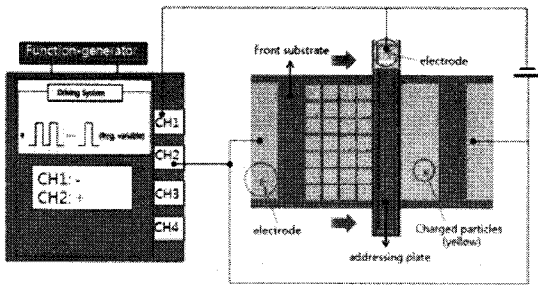


그림 2. 대전입자의 어드레싱방법 단면도.

2.3 Aging 및 패널 구동

상판과 하판을 패키징을 하여 전자종이 패널을 완성한 후, 상판에 형성된 전극패드 CH1과 CH2 그리고 하판에 형성된 CH3과 CH4의 전극에 양의전압과 음전압을 서로 교차하여 aging을 하였다. 이때, 상판과 하판에 인가하는 전압의 극성이 주기적으로 변환하도록 펄스와 카운트를 조절할 수 있는 전원공급기를 통하여 aging을 하였다. aging공정이 완료되면, 전면구동을 위해 상판의 CH1과 CH2의 전극패드에 양의 전압을 인가하고, 하판의 CH3과 CH4의 전극패드에 음전압을 인가하여 패널 전면에 노란색 이미지를 나타내었다. 그리고 이와 반대 극성의 전압을 인가하여 패널 전면에 검은색 이미지를 나타내었다. 전면 구동이 완료되면, 선택 구동을 위해 패널의 전면을 검은색 이미지로 구동하였다. 그리고 pixel을 구성하는 4개의 단위셀이 순차적으로 구동할 수 있도록 상판의 전극패드 CH1과 하판의 전극패드 CH3에 전압을 인가 후 첫 번째 sub셀을 구동하였다. 그리고 두 번째 단위셀을 구동하기 위해 CH2와 CH3에 전압인가를 하였으며, CH1와 CH4 그리고 CH2와 CH4에 전압을 인가하여 세 번째 단위셀과 네 번째 단위셀을 구동 하였다. 선택구동이 완료되면 메모리 효과 확인을 위해 패널의 전면을 검은색 이미지로 나타낸 후 CH1과 CH3의 전극패드에 전압을 인가한 후 모자이크 이미지를 나타내어 전원 공급을 중단하였다.

2.4 대전입자의 광학특성

그림 5는 대전입자형 디스플레이 제작공정을 도식적으로 나타낸 그림이다. 본 연구에서는 상판과 하판을 제작하여 노란색 대전입자와 검은색 대전입자를 각각 어드레싱한 후 대전입자가 어드레싱된 패널의 상판과 하판을 디지털 카메라와 광학현미경으로 관측하였다. 그리고 제작된 전자종이패널을 aging을 한 후 passive matrix방법에 의해 선택적으로 구동하였으며, 구동된 패널을 디지털 카메라, 전자현미경, 광학현미경으로 관측하였다.

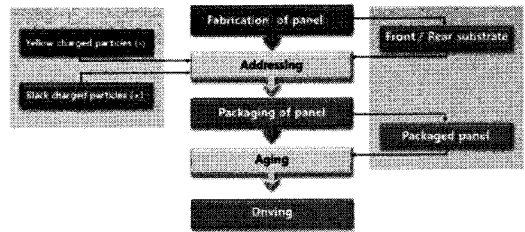


그림 3. 대전입자형 디스플레이 제조공정.

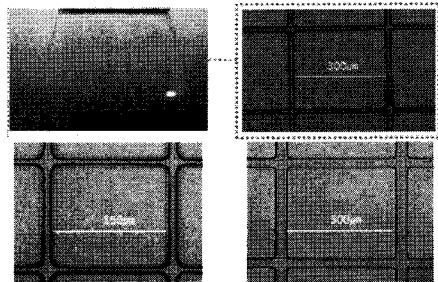


그림 4. 대전입자형 디스플레이의 제작된 패널.
(셀 크기: 500µm×500µm, 300µm×300µm, 150µm×150µm)

3. 결과 및 고찰

3.1 어드레싱된 대전입자의 layer에 따른 대전입자의 특성

그림 3은 대전입자를 어드레싱하기 위해 실제 제작된 패널의 사진과 격벽으로 형성된 셀의 size를 광학현미경으로 관찰한 것이다. 이렇게 제작된 패널들은 셀의 면적과 높이가 높아지는 만큼 대전입자를 어드레싱할 때 충전판과 상/하판의 전극에 인가하는 전압도 높아졌다. 전압을 인가하여 어드레싱된 대전입자는 반대 전압을 인가하지 않는 한 물리적인 힘을 가하여도 그림 4와 같이 상판과 하판에서 어드레싱된 상태를 그대로 유지 했다. 이는 어드레싱된 대전입자와 밀착된 전극간의 인력이 생성되어 대전입자와 전극이 서로 끌어당겨 나타난 현상이다. 이는 Van der waals에 의해 정의되며, 이 원리를 이용하여 대전입자형 디스플레이 메모리 기능을 수행할 수 있다.

격벽높이가 15µm, 30µm인 셀에 대전입자를 어드레싱한 결과 15µm의 격벽 높이에서는 대전입자가 1-layer로 되며, 30µm의 격벽 높이에서는 3-layer로 충전되었다. 패널에 어드레싱된 대전입자의 layer수가 많을수록 구동전압과 문턱전압이 높아지는 반면, 대조비는 layer수가 많을수록 대조비가 높아진다는 것을 관측하였다. 그리고 어드레싱되는 대전입자의 크기가 균일하고 작아질수록 문턱전압과 구동전압이 낮아지며, 어드레싱되는 layer의 선

백폭이 넓어짐에 따라 대조비도 동시에 높이는 효과를 볼 수 있다는 것을 관측하였다.

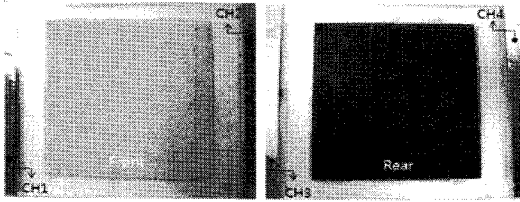


그림 5. 패널의 상판과 하판에 각각 충전된 대전입자.

3.2 Aging에 따른 문턱 전압과 대전입자의 메모리 효과

어드레싱된 대전입자를 패키징한 패널에 aging공정을 하면, 어드레싱 공정 시 어드레싱판의 전극과 상판과 하판의 전극 사이에 생성되는 전계의 힘과 어드레싱판을 좌우로 밀면서 생기는 물리적인 마찰력으로 인해 셀 안의 일부 영커 있는 대전입자들이 셀 안에서 골고루 퍼져 어드레싱되는 것을 확인하였다. 또한, aging을 하여 구동시킨 패널의 문턱 전압이 aging을 하지 않는 패널의 문턱전압 보다 훨씬 낮았으며, aging을 하지 않는 대전입자는 높은 문턱전압으로 인해 많은 대전입자들이 over charging 됨을 확인하였다. 그리고 전면구동을 위해 상판의 전극패드 CH1, CH2 하판의 전극패드 CH3, CH4에 전압을 인가한 결과 상판 전극 표면에 노란색 대전입자가 이동하여 밀착 되는 것을 확인하였다. 그리고 이와 반대로 전압을 인가하면, 검은색 대전입자가 상판 전극표면으로 이동하며 검은색이미지를 나타내었다. 선택구동을 하기위해 4개의 단위셀을 순차적으로 선택 구동한 결과, 상판과 하판의 전극이 서로 교차하는 부분의 셀들만 구동되어 모자이크 이미지를 나타내었다. 그리고 패널을 구동할 때 일부 대전입자들은 다른 입자들보다 더 낮은 전압에도 이동되었으며, 다른 입자들의 문턱전압까지 구동한 결과, 그 대전입자들은 over charging 되어있었으며, 더 이상 대전입자로서의 특성을 잃고 overcharging된 대전입자들은 서로 영커있었다. 이는 일부 대전입자들 간의 문턱전압 차로 인해 발생하는 것으로 판단되었다. 그림 6은 4개의 단위셀을 선택 구동하여 모자이크 이미지를 나타낸 것이다. 이때 어드레싱된 대전입자의 layer수는 구동되는 문턱전압을 낮추기 위해 1-layer로 충전했으며, 구동시킨 셀의 대전입자를 보면 셀 끝부분에 입자들이 서로 영커있는 것을 확인하였다. 이는 대전 입자가 over charging되어 나타낸 현상이다. 또한, 상판 패널에 표시된 이미지의 명암이 부분적으로 차이가 있는데, 그 원인은 패널에 상판에 어드레싱된 같은 극성을 지닌 대전입자들

간의 척력 때문에 대전입자가 미세하게 떨어져 있고, 그 간격을 통해 하판에 어드레싱된 대전입자가 그 간격을 통하여 패널의 상판 표면에 비취이기 때문에 발생하는 현상이다. 이는 어드레싱되는 layer수를 보강하여 간단히 해결할 수 있으나 layer수가 증가할수록 구동전압도 높아지는 단점이 있다.

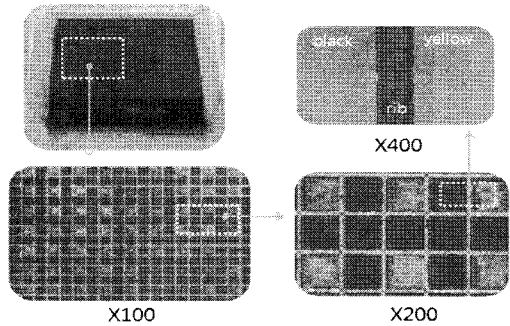


그림 6. 선택 구동된 대전입자형 디스플레이 패널.

4. 결론

본 연구를 통하여 극성이 다른 두 대전입자들을 패널의 상판과 하판에 각각 충전하는 방법을 통해 대전입자가 혼합되지 않아 입자의 신뢰성을 확보하였으며, 상판과 하판에 각각 어드레싱된 상반된 전하를 띤 대전입자들 각각의 문턱전압을 신뢰성 있고 쉽게 측정할 수 있어 안정적으로 대전입자형 디스플레이를 구동하였다.

또한 패널에 형성된 격벽의 높이를 조절하여 어드레싱되는 대전입자의 layer를 조절하는 공정을 통하여 layer의 수에 따라 구동전압과 대조비 특성이 다르게 나타난다는 것을 확인하였으며, 대전입자의 크기가 균일하고 작을수록 구동전압과 문턱전압을 낮추고 대조비를 높이는 선택 폭이 넓어진다는 것을 확인하였다.

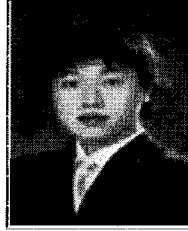
특히, 제작된 전자종이패널을 aging공정을 하면, 구동하는 문턱전압이 낮아지고 어드레싱할 때 전계의 힘과 물리적인 힘에 의해 영커있던 대전입자가 셀 안에서 골고루 펼쳐져 충전되는 것을 확인하였다. 또한 패널을 구동할 때 입자의 over charging이 적어진다는 결론 얻었다. 그리고 전자종이의 가장 큰 장점인 전자종이패널을 선택 구동하여 대전입자의 메모리효과와 지속성을 확인을 하여 대전입자의 우수한 메모리 특성을 확인하였다.

참고문헌

- [1] M. Ito, M. Kon, M. Ishizaki, C. Miyazaki, K. Imayoshi, M. Tamakoshi, Y. Ugajin, and N. Sekine, "A Novel Display Structure for Color Electronic Paper-Driven with Fully Transparent Amorphous Oxide TFT Array" IDW '06, pp.585-586, (2006).
- [2] I. Shiyankovskaya, A. Khan, S. Green, G. Magyar and J. W. Doane, "Single Substrate Encapsulated Cholesteric LCDs: Coatable, Drapable and Foldable" SID Symposium Digest, pp.1566-1559, (2005).
- [3] J. M. Ding, Y. R. Lin, C. H. Chen, R. D. Chen, C. Y. Lin, H. L. Wang, C. C. Lu, C. C. Liao, and W. H. Hou, "Inkjet Printed Multicolor Cholesteric Liquid Crystal Display" IDW '06, pp.1507-1510,(2006).
- [4] Heikenfeld J, Steckl AJ (2005) Intense switchable fluorescence in light wave coupled electrowetting devices. Applied Physics Letters 86:011105, (2005).
- [5] Takashi Kitamura, "Electronic Paper Based on particle Movement Electrophoretic and Toner Display."IDW 06, pp.587-589, (2006).
- [6] R.Hattori, S.Yamada, Y.Masuda, N.Nihei and R.Sakurai, "Ultra Thin and Flexible Paper-Like Display using QR-LPD Tehnology," DIGEST O4 ,pp. 136-139, (2004).
- [7] Y. Masuda, Y. Sakurai, N. Nihei and R. Hattori, "Novel Type of Multi-Stable Reflective Display Using Electric Powder" Proc. of IDW Symposium, pp. 821-824, (2005).

이 동 진(Dong-Jin Lee)

[준회원]



- 2007년 2월 : 청운대학교 전자공학과 (공학사)
- 2007년 3월 ~ 현재 :청운대학교 전산전자공학과 (공학석사 재학)

<관심분야>

디스플레이공학/전자종이

김 영 조(Young-Cho Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 전자공학과/디지털방송공학과 부교수

<관심분야>

반도체/디스플레이공학