

대전입자형 디스플레이의 균등전계내 대전입자의 거동특성에 관한 연구

이동진^{1*}, 김영조²

¹청운대학교 전산·전자공학과, ²청운대학교 디지털방송공학과

A study on a moving characteristics of charged particle in uniform electric field of Charged Particle type Display

Dong-Jin Lee^{1*} and Young-Cho Kim²

¹Dept. of Computer Science & Electronic Engineering, Chungwoon University

²Prof. / rept. of Digital Broadcasting & Electronic Engineering, Chungwoon University

요약 본 논문에서는 균일한 전계내의 대전입자의 운동특성에 대하여 연구하였다. 패널을 제작하기 위하여 양전하를 띠는 검은색 대전입자(토너)와 음전하를 띠는 노란색 대전입자(토너)를 사용하였으며, 패널구동을 위하여 오버슈트 현상이 없는 power supply로 구형펄스를 인가하였다. 또한 RT-200을 이용하여 광학특성(대조비, 시야각)을 측정하였으며, 레이저와 포토다이오드를 사용하여 응답속도를 측정하였다. 그리고 응답속도와 대조비를 통하여 대전입자의 m/q 분포를 확인하였다. 그 결과, 대전입자의 구동전압, 대조비, 응답속도는 m/q 에 의해 결정되며, 패널내부에 주입된 대전입자의 m/q 분포가 동일할수록 구동특성이 향상되었다.

Abstract In this paper, we studied on a characteristic of movement of charged particle in equal electric field. In order to fabricate a panel, we used positive charged toner particles of black and negative one of yellow. Panel was biased rectangle pulse without any overshoot. Also, panel's optical characteristics with contrast ratio and viewing angle is measured with RT-200. Response time was measure by using incident laser and detective photodiode. The distribution of m/q of particles by driving in panel throughout the contrast ratio and response time. As a results, driving voltage, contrast ratio, and response time are decided by m/q of charged particles and when m/q of charged particles in panel have regular distribution, it is induce improvement driving characteristics.

Key Words : driving characteristics, passive matrix, charged particles, contrast ratio, response time.

1. 서론

대전입자형 디스플레이는 외부광원에 의하여 화상을 표시하는 대표적인 반사형 디스플레이로서 메모리효과가 뛰어나 에너지효율이 높으며, 높은 대조비, 넓은 시야각, 빠른 응답속도의 특성과 함께 일정한 문턱전압이 존재하여 저가인 PM(passive matrix)방식으로 구동하는 매력적인 디스플레이소자이다[1-7].

소자의 기본구조는 전압을 공급하여 전계를 형성할 수 있도록 패널 내부의 상판과 하판에 두 개의 전극이 위치하고 그 전극표면에 셀을 구성하기 위한 격벽이 형성된 구조를 취한다. 이때, 패널의 상판표면을 통하여 화상을 표시하는 소자이므로 패널의 상판과 전극은 투명한 재료를 이용하여야 한다[8].

대전입자는 소자의 화상표시를 위한 매개체로서 패널 내부에 전계가 형성되면, 양전하를 띠는 대전입자는 인력에 의해 (-)전압이 인가되는 전극으로 이동하고 음전하를

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

*교신저자 : 이동진(dongjin.lee7@gmail.com)

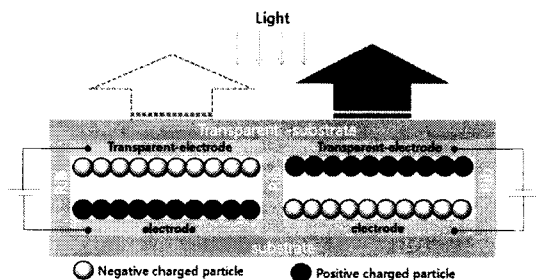
접수일 09년 01월 22일

수정일 09년 04월 25일

재제확정일 09년 06월 17일

떠는 대전입자는 (+)전압이 인가되는 전극으로 이동하는 운동특성을 가졌다. 이때, 상판표면에 충전된 상반된 컬러를 지닌 대전입자의 빛의 반사 또는 흡수를 통하여 화상표시를 하며, 그림 1을 통하여 이해가 된다.

상반된 전하를 띠는 입자들 간에는 인력이 존재하며, 같은 전하를 띠는 입자들 간에는 척력이 존재한다. 입자들 간의 인력과 척력은 대전입자의 m/q 에 의해 크게 좌우되며, 이는 소자의 구동전압, 응답속도, 광학특성 등에 전반적으로 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 상반된 전하를 띠는 대전입자들을 패널에 혼합주입하여 기존에 연구에서 접근하지 않은 상반된 전하를 띠는 대전입자들 각각의 응답속도 값을 통하여 대전입자의 m/q 에 의한 구동전압, 응답속도, 대조비의 상관관계를 분석하였다.



[그림 1] 대전입자형 디스플레이 구동원리

2. 실험

본 연구에서는 셀 면적 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$, 격벽높이 $20\mu\text{m}$, 291ppi(pixel per inch)의 상판과 하판으로 구성된 패널을 제작하였으며, 화상표시를 위해 사용된 대전입자는 양전하와 음전하로 대전된 토너로서 m/q 가 다른 양전하를 띠는 검은색 대전입자와 음전하를 띠는 노란색 대전입자를 패널에 주입하여 소자를 제작하였다.

소자를 구동하고 신뢰성 있는 데이터를 확보하기 위하여 overshoot 현상이 없고 op-amp에 의해 최대 $\pm 400\text{V}$ 로 출력할 수 있는 power supply를 이용하였으며, 제작된 소자에 대전입자가 과잉전압에 의하여 더 이상 운동하지 않는 전압에 이르기까지 순차적으로 인가하였다.

이때, 대전입자의 운동특성을 확인하고 분석하기 위하여 광학현미경을 이용하였으며, 구동전압과 대조비를 확인하기 위하여 RT-200장비를 이용하여 인가되는 전압에 운동하는 대전입자에 의해 변화하는 상판표면의 반사율, 대조비, 시야각을 측정하였다.

계조표현(gray scale)에 직접적으로 영향을 주는 대전입자의 응답속도를 측정하기 위하여 입사광원으로 레이

저를 패널의 상판표면에 입사시켜 반사율의 변화를 포토다이오드로 측정한 후 오실로스코프를 이용하여 주입된 대전입자의 m/q 에 따른 응답속도를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소자제작 및 구동전압 정의

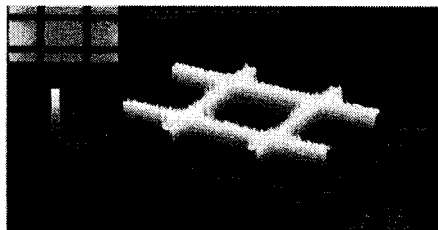
제작된 패널은 그림 2와 같이 비접촉 3차원 표면형상 측정기로 격벽표면을 측정하였으며, 측정결과 전극 간격인 $10\mu\text{m}$ 에 비해 무시할 수준인 $0.5\mu\text{m}$ 의 오차를 가진 것을 확인하였다. 소자를 PM(passive matrix)방식으로 구동하기 위하여 형성된 패널의 전극을 광학현미경으로 측정할 결과 $0.2\mu\text{m}$ 의 오차를 확인하였다.

그림 3은 문턱전압과 구동전압에서 노란색 대전입자를 전면 구동한 패널사진이다. 본 논문에서는 대전입자가 운동하고 반사율의 변화가 나타나는 시점의 전압을 문턱전압으로 정의하였다. 항복전압(V_B)은 대전입자가 더 이상 증가되는 인가전압에도 오히려 대조비가 급격하게 하락하는 시점의 전압을 항복전압으로 정의하였으며, 문턱전압과 항복전압 사이에서 대조비가 가장 높은 시점의 전압을 구동전압(V_D)으로 정의하였다.

소자구동 시 패널에 주입된 대전입자들의 질량/전하량(m/q)보다 높은 과잉전압에 의하여 대전입자가 입자들끼리 뭉치거나 격벽에 밀착되는 상태를 과대전(overcharging)현상으로 정의하였으며, 전압을 지속적으로 증가하여도 대전입자가 더 이상 운동하지 않는 상태를 breakdown현상으로 정의하였다.

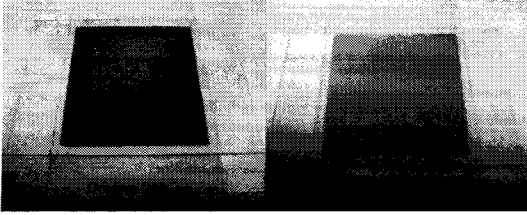


(a) 광학현미경 ($\times 100$)



(B) 비접촉 3차원 표면형상 측정

[그림 2] 패널의 격벽형상 측정



[그림 3] 문턱 및 구동전압에 의한 전면구동(노란색)

3.2 대전입자의 m/q에 의한 구동특성

전위차가 V인 두 점 사이에서 전하량 q인 전하를 옮기는데 필요한 일(W)은 $W=qV$ 이며, 전기장 내에서 (+)전하를 전위가 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동시키려면 전기장에 대하여 외부에서 일을 해 주어야한다. 이때, 포텐셜 에너지는 운동에너지로 변환되며 다음의 식 (1)에 보였다.

$$\therefore E_p = qV \propto \frac{1}{2} mv^2 = E_k \quad (1)$$

여기서, E_p 는 입자의 포텐셜에너지이며, q는 대전입자의 전하량, V는 인가전압, v는 입자의속도, 그리고 m은 대전입자의 질량이다.

식 (1)에서, 속도는 $v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$ 로 유도되며, $a = \frac{q}{m} \cdot \frac{V}{d}$, $d = \frac{1}{2} at^2$ 이기 때문에, 이 식으로부터 대전입자의 응답속도(τ)를 구할 수 있다. 즉,

$$\therefore \tau^2 \propto d^2 \cdot \frac{2m}{qV} \quad (2)$$

이다. 여기에서, τ 는 응답속도이며, d는 상판과 하판의 전극간의 거리이다. 이 식으로부터 동일한 전압과 거리에서, 전하량이 클수록 응답속도가 빠르다는 것을 알 수 있으며, 이는 일반적인 전자기적 예측과 일치한다.

그림 4는 문턱전압에서부터 항복전압에 이르기까지 전위차의 증가에 따라 변화하는 대전입자의 응답속도를 측정하여 나타낸 그래프이다. 노란색 대전입자와 검은색 대전입자의 m/q가 일정하다면, 두 대전입자의 응답속도는 증가되는 인가전압에 따라 선형적으로 반비례해야하며, 동일한 인가전압범위에서 큰 응답속도차이를 두지 않아야 한다. 따라서 주입된 대전입자의 m/q의 차가 크면 응답속도는 선형적이지 않으며, 동일한 전압범위에서 응답속도차가 크고 불특정한 응답속도를 나타낸 것을 예측

할 수 있다.

소자에 주입된 대전입자의 응답속도가 대전입자의 대조비에 어떤 영향을 주는지 확인하기위하여 응답속도 측정과 동시에 대조비를 측정하였다. 노란색 대전입자의 응답속도가 가장 빠른 그림 4의 A지점을 광학현미경으로 확인한 결과 노란색 대전입자들은 스스로 운동한 반면에, 검은색 대전입자들은 노란색 대전입자들이 이동하면서 검은색 대전입자에 가까워졌을 때 두 대전입자간의 상반된 전하에 의한 인력으로 검은색 대전입자가 노란색 대전입자에 근접하여 뭉치는 것을 확인하였으며, 대조비가 가장 높은 것을 확인하였다.

즉, 이 A지점에서는 노란색 대전입자가 검은색 대전입자 운동을 지배하여 운동하며, 동일한 위치에서 노란색 대전입자만이 스스로 운동하는 것은 노란색 대전입자의 m/q가 상대적으로 낮은 것을 의미한다.

A지점 이후에는 대전입자의 응답속도가 불규칙하게 나타나며, 검은색 대전입자가 주도적으로 운동하고 검은색 응답속도가 가장 빠른 B지점에서 A지점 이후 대조비가 높다는 것을 확인하였다. 특히 60V 이후에 격벽과 상판에 과대전(overcharge)되거나 인가전압이 높아짐에 따라 breakdown되는 노란색 대전입자가 증가하였다. 이는 노란색 대전입자가 가진 m/q보다 과잉전압이 인가되어 나타난 현상이라고 판단된다.

B지점을 광학현미경으로 확인한 결과 검은색 대전입자들이 노란색 대전입자들에 대비 활발히 운동하였으며, A지점 이후 대조비가 높다는 것을 확인하였다. B지점 이후에서는 노란색 대전입자들과 검은색 대전입자들이 공통적으로 과대전현상이 급격히 증가하고 점차적으로 대전입자가 breakdown되는 것을 확인하였다.

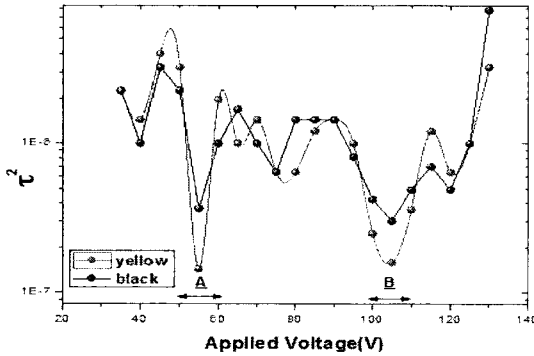
대전입자의 응답속도, 구동전압 그리고 대조비는 대전입자의 m/q에 의해 결정된다. 따라서 측정된 결과를 종합해보면, A지점이 m/q가 동일한 노란색 대전입자가 가장 많은 지점이며, B지점은 m/q가 동일한 검은색 대전입자가 가장 많은 지점이라는 것을 알 수 있다. 이는 식 (2)와 함께 이해된다.

따라서 m/q가 일정하지 않으면, 상대적으로 낮은 m/q 를 지닌 대전입자는 과잉전압이 인가되어 과대전현상과 breakdown을 유도한다.

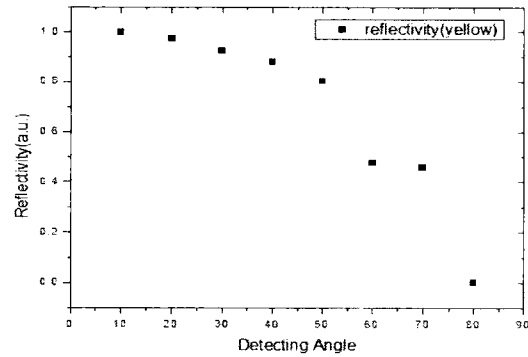
대조비로 구동전압을 정의 시 A지점은 구동전압지점이 되며, 응답속도와 대조비가 급격히 하락하는 B지점 이후는 항복전압으로 정의된다.

대조비를 통하여 정의된 구동전압과 항복전압을 더욱 명확하게 하기 위하여 대조비가 가장 높은 A지점과 응답속도가 급격히 느려지고 노란색 대전입자와 검은색 대전

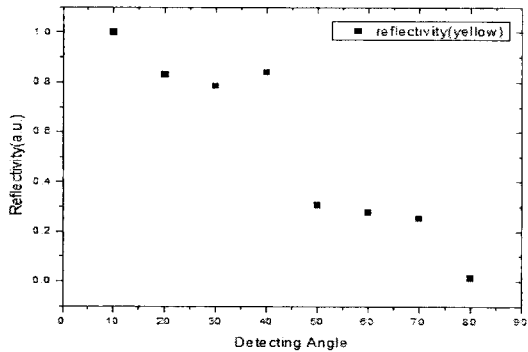
입자 모두 breakdown현상이 나타난 B지점 이후에서의 시야각을 측정한 결과 그림 5와 같이 구동전압에서는 대부분 선형적인 시야각을 나타낸 반면에, 항복전압에서는 불규칙적인 시야각을 나타낸 것을 확인하였다. 즉, 대전입자의 m/q 보다 과잉전압이 인가되면, 광학특성이 급격히 하락하는 특성을 가진다.



[그림 4] 인가펄스에 의한 대전입자응답속도



(a) 구동전압



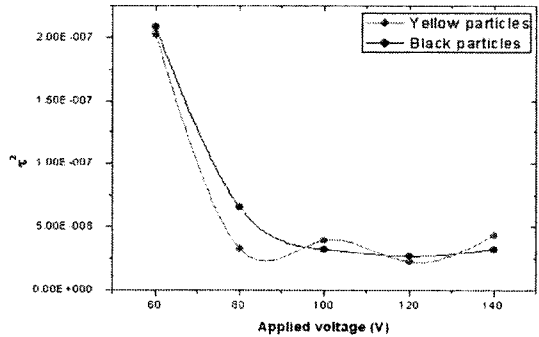
(b) 항복전압

[그림 5] 인가전압에 따른 시야각특성

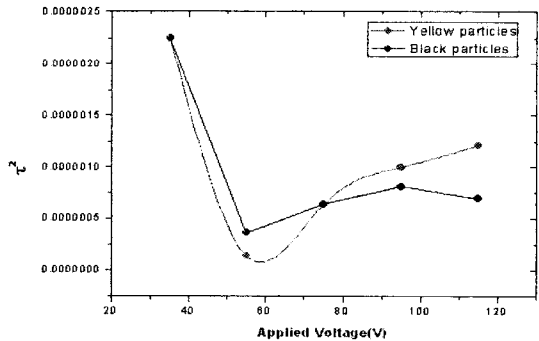
3.3 대전입자의 m/q 에 의한 응답속도

식 2에서 소자에 주입된 대전입자의 m/q 가 동일하지 않으면, 인가되는 전압이 높아지는 만큼 불균형적이고 편차가 큰 대전입자의 응답속도를 예측할 수 있다.

그림 6은 소자에 주입된 대전입자들의 m/q 차에 따라 문턱전압에서부터 항복전압에 도달할 때 까지 구동 한 소자의 응답특성을 나타낸 그래프이다. 그림 6의 a는 상대적으로 m/q 가 균일한 대전입자를 주입한 소자의 응답 특성이며, b는 질량/전하량 차가 상대적으로 약 $2m/q$ 차를 가진 대전입자를 주입한 소자의 응답특성이다. 그림 6의 a와 b의 결과에서, 입자가 운동하기 시작한 문턱전압 이후 구동전압과 항복전압 영역에서 응답속도가 큰 폭으로 차이를 내며, 불규칙적으로 나타났다. 이에 반하여 상대적으로 m/q 가 균일한 a가 $2m/q$ 차를 가진 b보다 안정적인 응답속도를 나타내었다.



(a) m/q 차가 균일한 대전입자



(b) m/q 차가 큰 대전입자(약 $2m/q$)

[그림 6] 대전입자의 m/q 차에 의한 응답특성

즉, m/q 가 상대적으로 낮은 대전입자가 구동하면, m/q 가 높은 대전입자는 전계의 힘이 약해 운동하지 못하고 낮은 m/q 를 가지는 대전입자의 운동을 방해하여

원래의 운동속도를 내지 못한다. 반대로 m/q 가 상대적으로 큰 대전입자의 구동영역에서는, m/q 가 상대적으로 낮은 대전입자가 과잉전압에 노출되어 과대전현상과 breakdown현상을 동반하며, m/q 가 큰 대전입자의 응답속도를 방해한다.

따라서, 대전입자의 m/q 가 균일하면, 증가되는 전압에 따라 동일한 응답속도를 나타내고 증가되는 전압에 따라 동일한 영역에서 과잉전압에 노출 될 것이다. 그러나 대전입자의 m/q 차가 크면, 상반된 전하를 띠는 두 대전입자는 문턱전압이 다르고 과대전과 breakdown현상이 각기 다른 영역의 전압에서 일어나 구동전압과 수명측면에서 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

4. 결론

대전입자의 m/q 는 소자의 응답속도, 구동전압, 그리고 광학특성에 큰 영향을 미친다. 화상표시에 직접적으로 영향을 주는 대조비와 시야각은 신뢰성과 재현성을 가져야 한다. 따라서 소자에 주입된 대전입자의 m/q 가 다르면, m/q 가 낮은 입자는 과잉전압에 영향을 받아 과대전현상과 breakdown현상을 일으키고 m/q 가 높은 입자는 운동하지 않아서 불특정한 시야각과 급격한 대조비의 하락을 초래한다. 또한, 계조표현에 직접적으로 영향을 주는 응답속도는 대전입자의 m/q 의 차이로 인하여 동일한 전압범위에서 불특정한 응답속도차를 나타내기 때문에 펄스의 수로 계조표현 시 상대적으로 응답속도가 느린 대전입자로 인하여 계조표현 영역이 줄어들어는 현상을 초래한다. 따라서 불특정한 응답속도를 미연에 방지하고 전기 및 광학특성을 향상하기 위해서는 반드시 m/q 가 균일한 대전입자를 소자에 주입해야만 한다.

참고문헌

[1] T. Kitamura(2006), "Electronic Paper Based on particle Movement Electrophoretic and Toner Display", IDW 06, pp.587..

[2] R .C.Liang, Jack Hou, HongMei Zang, and Jerry Chung, "Passive Matrix Microcup Electrophoretic Displays", IDMC'03, pp.01, 2003.

[3] R. Hattori, S. Yamada, Y. Masuda, N. Nihei, and R. Sakurai, "Ultra Thin and Flexible Paper-Like Display using QR-LPD Technology", SID DIGEST O4, pp.136, 2004.

[4] Y. Masuda, Y. Sakurai, N. Nihei, and R. Hattori, "Novel Type of Multi-Stable Reflective Display Using Electric Powder" IDW/AD 05, pp. 821, 2005.

[5] R. Sakurai, S. Ohno, Y. Masuda, and R. Hattori, "Color and Flexible Electronic Paper Display using QR-LPD Technology", SID DIGEST O6, pp. 1922, 2006.

[6] Y. Masuda, N. Nihei, R. Sakurai and R. Hattori, "A reflective-display QR-LPD", Journal of the SID 14/5, pp. 443, 2006.

[7] R. Hattori, S. Yamada, Y. Masuda, and N. Nihei, "A novel bistable reflective display using quick-response liquid powder", Journal of the SID 12/1, pp.136, 2004.

[8] Dong-Jin Lee, In-Ho Kim, and Young-Cho Kim, "Driving Characteristics of Charged Particles Type Display", Proceeding of The KASI Fall Conference, 9 권, 2호 pp. 167-169, 2008.

이 동 진(Dong-Jin Lee)

[준회원]



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

<관심분야>
전자종이/디스플레이 공학

김 영 조(Young-Cho Kim)

[정회원]



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

<관심분야>
반도체/디스플레이 공학