

## 대전입자형 디스플레이의 구동방식

권기영<sup>1\*</sup>, 김성운<sup>2</sup>, 황인성<sup>3</sup>, 김영조<sup>1</sup>

### The Driving Method of a Charged Particle Type Display

Ki-Young Kwon<sup>1\*</sup>, Sung-Woon Kim<sup>2</sup>, In-Sung Hwang<sup>3</sup> and Young-Cho Kim<sup>1</sup>

**요약** 본 논문에서 대전입자형 디스플레이 패널의 기본적인 구동방식 및 각각의 셀의 선택적 구동방식에 관하여 기술하였다. 패널을 제작하기 위해  $500\mu\text{m}\times 500\mu\text{m}$ 의 셀면적을 가지고 있는 마스크패턴을 설계하였으며 기본적인 구동 조건을 바탕으로 셀갭의 변화에 따른 구동전압의 변화를 관찰하였다. 수동메트릭스 방식으로 구동되는 패널의 각각의 셀을 선택적으로 구동하기 위해 선택된 셀과 선택되지 않은 셀의 전위차 상관관계를 확립하여 패널의 선택적인 구동을 수행하였으며 구동이 완료된 패널의 crosstalk현상을 관찰하였다. 또한 추가적인 전압을 인가하지 않아도 마지막 이미지가 오랜 시간 동안 유지되는 패널의 메모리 효과를 확인하였다.

**Abstract** In this paper, fundamental driving method and selective driving each cells of charged particle type display are described. To fabricate panel, mask patterns with cell area of  $500\mu\text{m}\times 500\mu\text{m}$  are designed. Gain of driving voltage due to increase of cell gap is observed on the basis of fundamental driving method. To selectively drive each cells of charged particle type display that is driven by passive matrix method, selective driving of charged particle type display is achieved after establishing interrelation of voltage of select cell and unselect. And than crosstalk of the driven panel is observed. It can be found that the last image is maintained without additional voltage by memory effect.

**Key Words** : charged particles, crosstalk, driving voltage, rib, threshold property, selective cell

### 1. 서론

차세대 디스플레이로 각광받고 있는 플렉시블 디스플레이는 기존의 평판디스플레이와는 달리 발광체로 인해 높아지는 소비전력을 낮출 수 있으며 오랜 시간 동안 마지막 이미지를 추가적인 전력소비 없이 유지할 수 있는 쌍안정(bistable)특성을 가지고 있는 반사형 디스플레이(reflective display)가 주류를 이루고 있다. 이러한 특성은 배터리의 부피와 무게가 줄어들을 의미하며 사용자로 하여금 휴대의 용이함을 제공한다. 뿐만 아니라 기판의 유연성을 극대화하였을 경우 소형화로 인한 디스플레이의 단점을 보완할 수 있으며 향후 wearable PC, roll-up 디스

플레이등의 다양한 적용에 있어 많은 가능성을 가지고 있다. [7]

개발된 플렉시블 디스플레이 중 주목할 만한 구현방식은 콜레스테릭 액정(Cholesteric liquid crystal) 사용하는 Kent display의 ChLCD[9]와 MEMS기술을 기반으로 패널이 제작되는 광간섭변조방식을 이용하는 Qualcomm사의 iMoD[8]가 있으며 Philips사의 전기습윤(Electrowetting)[10] 기술을 이용하여 인가되는 전기장 내에서 색을 가지고 있는 오일의 시각적인 스위칭을 통해 구현하는 기술이 있다. 이와는 다르게 전하를 가지고 있는 입자기반으로 구현하는 방식이 있으며 대표적인 구현방식이 오일 안에 하전입자들이 작은 캡슐 안에 채워 전압에 의해 흑백의 디스플레이를 구현하는 방식인 E-ink사의 microcapsule과 마찬가지로 하전입자를 회전하는 공(twisting ball)안에 채운 Xerox사의 Gyricon방식이 있으며 SiPix는 microcup 안에 하전입자를 채워 플렉시블 디스플레이를 구현하는 방식이 있다. 또한 대전입자형 디스플레이와 같은 방식인 bridgestone사의 QR-LPD가 있으며 이는 상·하판에 형

이 논문은 2006년도 지역산업공동기술개발사업의 일환으로 연구되었음.

<sup>1</sup>청운대학교 전산전자공학과

<sup>2</sup>서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

<sup>3</sup>(주)실텍

\*교신저자: 권기영(therun13@chungwoon.ac.kr)

성된 전극사이의 공기로 채워져 있기 때문에 입자들의 움직임은 점성의 영향을 덜 받는다. 따라서 대전입자형 디스플레이는 우수한 응답특성을 가지고 있으며 이는 잔상효과의 개선 및 대형 패널제작에 있어 많은 이점을 제공하고 있다. 또한 대전입자형 디스플레이는 다른 전자종이에 비해 넓은 시야각을 가지고 있으며 구조가 단순하여 공정이 비교적 용이하다는 장점이 있다.[7] 따라서 본 논문에서는 대전입자형 디스플레이 패널의 기본적인 구동방식 및 각각의 셀의 선택적 구동방식에 관하여 기술하였다.

## 2. 이론 및 패널구조

대전입자형 디스플레이 패널의 구동원리는 서로 반대되는 전하와 컬러를 가지고 있는 두 가지 종류의 입자를 패널에 어레이(array)되어 있는 각각의 셀 높이대비 일정한 비율(20~30%)로 입자를 채운 후 인가되는 전압에 의해 ITO 전극이 패터닝되어 있는 상판에 입자를 유도하여 시각적인 스위칭을 하는 방식으로 원하는 정보나 이미지를 구현한다. [1,2,3]

패널의 전극과 입자들 사이에 전기적인 힘이 존재하게 되는데 인력( $F_a$ )과 인가되는 전기장에 의한 힘( $F_E$ )으로 나뉜다. 인력( $F_a$ )은 상호 다른 전하를 가지고 있는 입자들 간에 생성되는 힘( $F_q$ )은 잘 알려져 있는 쿨롱힘(Coulomb force)이며 다른 하나는 전극이나 유전체의 분극으로 인해 입자와 전극사이에서 생성되는 힘이며 이는 Van der Waals force( $F_v$ )로 간주된다. Van der Waals force( $F_v$ )로 인해 패널에 추가적인 전압을 인가하지 않아도 마지막 생성된 이미지가 오랜 시간 유지될 수 있는 메모리 효과(memory effect)가 패널에 존재하게 된다. 전기장에 의한 힘( $F_E$ )은 인가전압에 의해 생성되는 힘으로 전기장과 입자의 전하량에 비례하며 상판과 하판의 전극간의 거리에 반비례하다는 특성이 있다. 기본적으로 패널을 구동하기 위한 조건은  $F_E > F_a$  ( $F_a = F_q + F_v$ )이며 이러한 조건이 만족되었을 경우 음전하를 가지고 있는 입자는 인가전압으로 생성되는 전기장의 방향에 반대방향으로 운동한다. 반면에 양전하를 가지고 있는 입자는 전기장 방향으로 운동하며 결과적으로 전극에 유도된 입자들은 전극과 입자 상호간에 생성되는 인력( $F_v$ )으로 인해 장시간동안 입자의 위치가 변화 없이 지속될 수 있다. 또한 패널은 전극과 전극사이의 간격과는 독립적으로 문턱특성(Threshold property)을 가지고 있다. 이는 분극

된 전극이나 유전체를 역전시키기 위한 최소전압으로 간주되며 이러한 특성으로 인해 패널을 선택적으로 구동할 수 있다.[1,3]

본 연구를 위한 패널의 상·하판은 glass기판을 사용하였으며 상판의 전극은 투명한 전극으로 구성되어야 한다. 하판의 전극의 투명도는 고려대상이 아니지만 공정상의 용이함을 위해 상·하판 각각 같은 재료인 ITO를 사용하여 기판의 전극패턴을 형성하였다.[2,3]

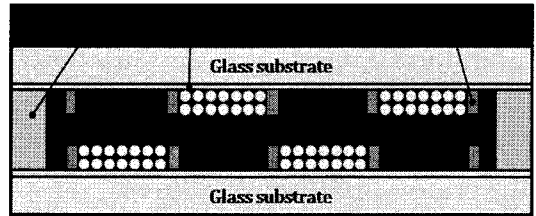


그림 1. 패널구조

그림 1은 제작된 패널의 단면을 보인 것이다. 패널은 격벽이 상·하판 각각 형성되어 있으며 상·하판 전극사이의 간격은 스페이서(spacer)를 통해 조절되도록 제작되었다. 이러한 방식으로 격벽을 형성하였기 때문에 Putting 공정 중에 입자의 양을 원활히 조절할 수 있었으며 격벽 형성 공정 중에 재료적인 특성인 aspect ratio로 인해 격벽의 폭이 증가하며 그로인해 패널의 개구율을 감소하게 된다. 따라서 격벽의 높이를 줄이면 비례적으로 폭이 줄어들기 때문에 결과적으로 패널의 개구율을 보완할 수 있으며 향후 소자의 유연성을 고려할 경우 물리적인 왜곡으로 인한 격벽손상이 감소된다는 장점이 있다.

상·하판 각각 형성된 전극사이의 간격은 입자의 운동에 대한 자유도를 위해 필요한 부분이며 공기로 이루어져 있다. 상·하판 전극사이의 매개체로서 액체를 사용하는 것 보다는 공기를 사용하는 것이 점성의 영향을 덜 받으며 이로 인해 패널은 우수한 응답특성을 가질 수 있게 된다.[7,11]

## 3. 실험

그림 2에서 보는 바와 같이 상·하판 각각에 전극 및 격벽이 패터닝 되어지며 각각의 기판에 상호 다른 전하를 가지는 입자가 Putting공정을 통해 셀안에 채워진 후 스페이서를 형성한다. 형성된 스페이서를 통해 상판 전극과 하판전극사이의 간격이 조절되며 입자가 채워진 두개의 기판은 cross형태로 합착된다. [1,3,4]

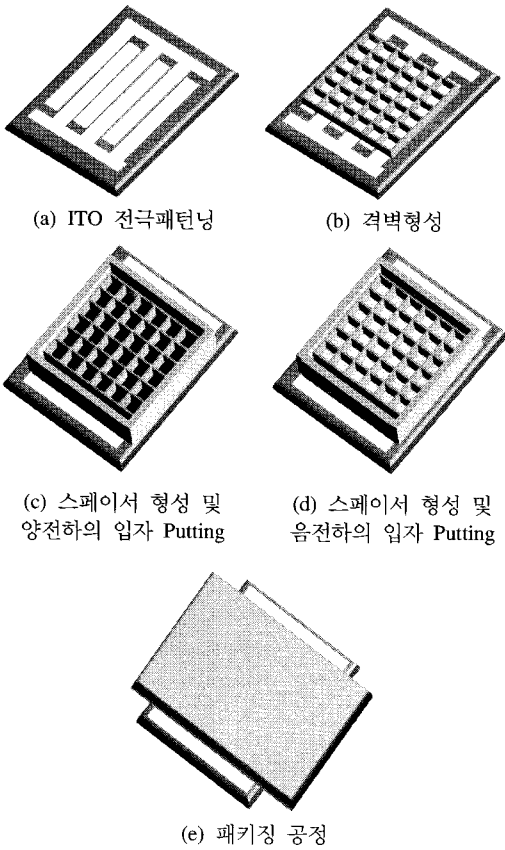


그림 2. 패널제작과정

제작된 패널의 ITO전극 패터닝과 격벽 패터닝은 포토 리소그래피(Photolithography)공정을 통해 이루어졌으며 공정을 위해 마스크제작을 위한 패턴을 설계하였다. 전극의 폭은  $500\mu\text{m}$ 로 설계하였으며 전극간의 간격의  $50\mu\text{m}$ 가 되도록 하였다. 또한 전극패턴에 기관의 좌우에 패드가 형성되는데 전극이 패드에 교번으로 포함되도록 하여 동시에 여러 전극에 전압이 인가되도록 패턴을 설계하였다. 전극이 형성된 후에 상판과 하판위에 각각 격벽이 형성되는데 형성되는 셀의 면적은 전극과의 폭과 일치하므로  $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ 로 이루어져 있으며 격벽은 전극과 전극사이에 형성되므로 전극간의 간격이 격벽의 폭을 결정한다.[4] 격벽의 폭은 전극과의 간격이  $50\mu\text{m}$ 이기 때문에 격벽의 폭은  $50\mu\text{m}$ 로 결정되며 전체적인 패널의 사이즈가  $25.25\text{mm} \times 25.25\text{mm}$ 이며 해상도(resolution)가 46[dip]로 계산된다. 개구율은 전체 패널의 면적과 전체 셀 면적 비를 통해 얻을 수 있으며 그 값은 82.97%로 계산된다.

대전입자형 디스플레이는 Passive-matrix 방식으로 패널을 구동하며 앞에서 언급한 것과 같이 사용된 대전입

자는 서로 반대되는 전하와 컬러를 가지고 있으며 노랑색을 가지고 있는 입자는 음전하를 검은색을 가지고 있는 입자는 양전하를 띠고 있다. 따라서 상판에 검은색입자를 유도하기 위해서는 상판의 전위가 하판의 전위보다 낮아야 하며 기본적인 구동조건( $F_E > F_a$ )을 만족하였을 경우 패널을 구동할 수 있었다.

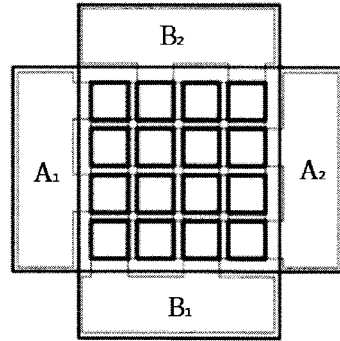
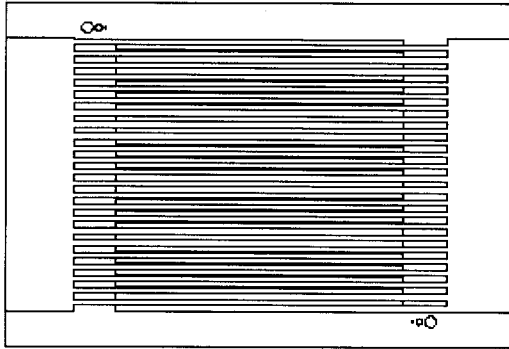


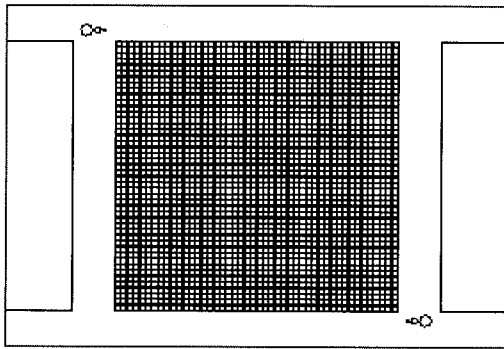
그림 3. 4×4의 셀을 가진 임임의 패널

그림 3은 구동에 관해 원활한 설명을 위해 예시한 임의의 패널의 평면도이다. 앞서 설명한 것과 마찬가지로 상판(A)과 하판(B)이 수직으로 패키징 되어있으며 패드가 여러 전극을 동시에 포함하고 있기 때문에 전체 패널이 4개의 셀과 동기화되어 구동된다.  $A_1$  패드에 0V를 인가하였으며  $B_1$ 에 HV(High voltage)를 인가하여 선택한 셀인  $A_1B_1$  셀의 전위차가 -HV가 되도록 하였다. 또한  $A_2$ 와  $B_2$ 에 각각 MV(middle voltage)를 인가하여 선택되지 않은 셀의 전위차가 -MV~0V가 되도록 하였다. 선택되지 않은 셀의 전위차가 구동조건을 만족하지 않기 때문에 변화가 없으며 선택된 셀의 전위차는 구동조건을 만족하기 때문에 양전하를 가지고 있는 검은색 입자가 상판에 유도될 수 있도록 하였다. 이와는 반대로  $A_1$  패드에 HV를 인가하였으며  $B_1$ 에 0V를 인가하여 선택한 셀인  $A_1B_1$  셀의 전위차가 HV가 되도록 하였으며 이때 상판에 음전하를 가지고 있는 노랑색 입자가 상판전극에 유도되도록 하였다. 마찬가지로  $A_2$ 와  $B_2$ 에 각각 MV를 인가하여 선택되지 않은 셀의 전위차는 MV~0V가 되도록 하였다.[1,5,6]

### 4. 실험결과



(a) electrode pattern



(b) rib pattern

그림 4. 설계된 마스크 패턴

그림 4는 위에서 언급한 내용을 바탕으로  $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ 의 셀 면적을 가지고 있는 설계된 마스크 패턴이며 패턴닝을 위해선 각각의 마스크가 두 번씩 사용된다. 상판과 하판의 정확한 align을 위해 align mark가 오른쪽 상단에 왼쪽 하단에 형성되도록 하였다.

그림 5는 glass기판 위에 ITO전극을 형성한 후 폭이  $50\mu\text{m}$ 이며 셀의 면적이  $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ 인 격벽패턴을 포토 리소그래피 공정을 통해 형성하여 광학 현미경으로 관찰한 사진이다. 상·하판 각각 격벽패턴을 형성한 후에 셀 안에 입자를 고르게 채우는 공정을 Putting공정을 통해 셀 내부에 입자를 고르게 채운 후 패키징하여 패널을 제작하게 된다.[4]

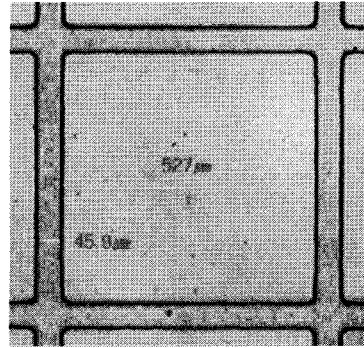


그림 5. 형성된 격벽패턴

위에서 언급한 것과 같이 패널을 구동하기 위한 기본적인 조건은  $F_E > F_a$ 이며 전기장에 의해 생성되는 힘  $F_E$ 는 인가전압과 입자의 전하량에 비례하며 상·하판 전극사이의 간격에 반비례하기 때문에 구동조건을 만족하는 인가전압은 상·하판 전극사이의 간격에 독립적일 수 없다.

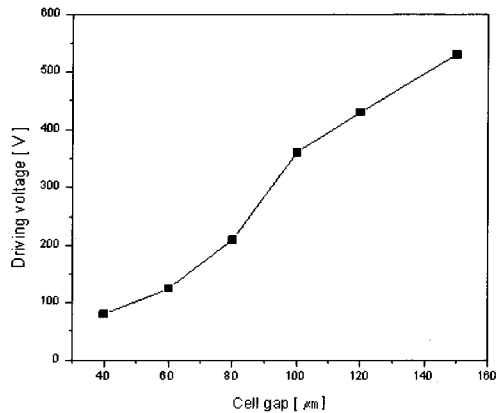


그림 6. 셀 갭에 대한 구동전압의 변화

상·하판 전극사이의 간격은 셀 갭(cell gap)으로 정의하였으며 그림 6은 패널의 셀 갭의 증가함에 따라 구동전압이 증가되는 특성을 나타내고 있는 그래프이다. 셀 갭이  $40\mu\text{m}$ 일 경우 구동전압은 80V였으며  $40\mu\text{m}$ 이하의 패널을 제작하여 구동하였을 경우 구동전압을 낮추어도 충분한 전기장의 세기 얻을 수 있으나 셀 갭 대비 20~30% 정도의 입자가 채워지기 때문에 입자의 크기를 고려할 경우 더 이상의 낮은 셀 갭은 인가전압에 따라 구동될 수 있는 입자의 자유도가 현저히 감소하므로 패널을 구동할 수 없게 된다.

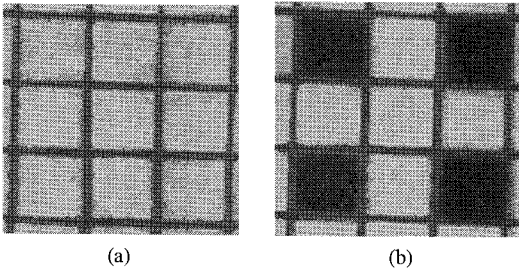


그림 7. 패널의 선택적 구동

그림 7에서 보는 바와 같이 (a)는 선택된 셀의 전위차가 HV가 되도록 하였을 경우 상판의 전압이 높기 때문에 음전하를 가지고 있는 노란색 입자가 상판이 유도되며 이러한 현상을 관찰한 사진이다. (b)는 선택된 셀의 전위차가 -HV가 되도록 하였을 경우 상판에 양전하를 가지고 검은색 입자가 상판에 유도되며 이러한 현상을 관찰한 사진이다. 패드가 전체 전극을 교번으로 포함하고 있기 때문에 패널의 선택된 셀이 동기화되어 구동됨을 알 수 있다. 구동된 셀의 격벽부근에 구동되지 않은 입자를 볼 수 있는데 이는 구조적으로 격벽과 전극에서 형성되는 전기장과 격벽이 생성된 전기장에 의해 분극되어 구동특성이 감소함을 알 수 있었다.

Passive-Matrix 방식으로 패널을 구동함에도 불구하고 셀 내부에서는 법선방향의 전기력선의 밀도가 크며 분명한 문턱특성으로 인해 crosstalk 현상이 발생하지 않았으며 이를 통해 제시된 선택적인 구동이 적절하였음을 알 수 있었다.

### 5. 결론

대전입자형 디스플레이패널의 구동을 통한 패널의 메모리 효과를 확인할 수 있었으며 셀 갭에 따른 구동전압의 변화를 확인하였다. 플렉시블 디스플레이의 평가지표 중 하나인 구동전압의 감소는 Active-matrix 방식으로 소자를 구현하는데 있어 필요한 사항이다. 따라서 향후 사이즈는 작지만 만족할 만한 전하량을 가지고 있는 입자가 개발된다면 구동전압은 현저히 낮아질 것으로 판단되며 입자의 작은 사이즈는 반사광량을 증가시켜 패널에 우수한 광학적 특성을 제공할 것으로 판단된다. 또한 확보된 구동방식을 바탕으로 패널의 셀을 선택적으로 구동하였을 경우 crosstalk 현상이 거의 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 본 연구에 사용된 패널의 기판은 유리기판을 기반으로 제작되었으나 전기적 특성을 분석하는 부분에 있어서는 고려대상이 아니며 확보된 설계조건 및 구

동방식을 통해 플렉시블 기판이 적용된 패널을 제작할 경우 최적화된 패널의 제작이 가능할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] R.Hattori, S.Yamada, Y.Masuda, N.Nihe and R.Sakurai, "Ultra Thin and Flexible Paper-Like Display using QR-LPD Tehnology," DIGEST O4, pp. 136-139, (2004).
- [2] R.Hattori, S.Yamada, Y.Masuda, N.Nihe "A nevel bistable reflective display using quick-response liquid powder" Journal of the SID 12/1, 2004, pp.75-80
- [3] R.Hattori, S.Yamada, Y.Masuda, N.Nihe and R. Sakurai "A quick-response liquid-plwder display (QR-LPD) with plastic substrate" Journal of the SID 12/4, 2004, pp.405-409
- [4] S.H Kwon, S.G.Lee, W.K. Cho, B.G. Ryu, M-B. Song, "Reflective Paper-Like Display using Opposite-Charged Two Particles," IMID DIGEST 05, pp. 423-425 (2005).
- [5] R.Hattori, S.Wakuda, M.Asalawa, "Three-Voltage-Levle Driver Driven Quick-Response Liquiod Powder Display" SID DIGEST 06, pp.1410-1413(2006)
- [6] Y. Masuda, N. Nihei, A. Yokoo, S. Yamada, "Improvement of contrast Ratio in QR-LPD by Four-Voltage Level Driving" Proc. of ASID'06, 8-12 Oct, New Delhi pp.148-151(2006)
- [7] Drzaic P (2006) Reflective displays: the guest for electronic paper. Journal of the Society for Information Display, Seminar M-8.
- [8] Philip D. Floyd, David Heald, Brian Arbuckle, Alan Lewis, Manish Kothari, Brian J, Gally, Bill Cummings, B.R. Natarajan, Lauren Palmateer "Distinguished paper: iMoD Display Manufacturing" SID 06 DIGEST, pp. 1980-1983(2006)
- [9] Asad Khan, Tod Schneider, Erica Montbach, Donald J. Davis, Nick Miller Duane Marhefka, Todd Ernst, and J. William Doane "Invited Paper: Recent Progress in Color Flexible Reflective Cholesteric Displays" SID 07 DIGEST, pp. 54-56(2007)
- [10] B. J. Feenstra, R. A. Hayes, R. van Dijk, R. G. H. Boom, M. M. H. Wagemans, I. G. J. Camps, A. Gi-raldo and B. v.d. Heijden "Electrowetting-Based Displays: Bringing Microfluidics Alive On-Screen" MEMS 2006, Istanbul, Turkey, 22-26 January 2006 pp.48-53
- [11] 이재성 "introduction to Electronic Paper" <http://www.cheric.org/ippage/ip.php?code=p200613>

**권 기 영(Ki-Young Kwon)**

[준회원]



- 2007년 2월 : 청운대학교 전자공학과 (공학사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 대학원 전산·전산전자공학과 공학석사과정

<관심분야>

디스플레이, 전자종이, 전기영동, 반도체

**황 인 성(In-Sung Hwang)**

[준회원]



- 1985년 2월 : 호서대학교 경영학 (공학사)
- 1988년 2월 : 단국대학교 경영대학원 (공학석사)
- 1997년 6월 ~ 현재 : (주)실텍 대표이사
- 2001년 8월 ~ 2007년 2월: 호서대학교 벤처과정부 겸임교수
- 2004년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 첨단산업기술 박사과정
- 2007년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 교양학부 조교수

<관심분야>

경영학, 첨단산업기술

**김 성 운(Soung-Woon Kim)**

[정회원]



- 2004년 2월 : 청운대학교 전자공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 청운대학교 전산·전산전자공학과 (공학석사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 전기전자컴퓨터공학부 박사과정

<관심분야>

반도체, 디스플레이, 전자종이

**김 영 조(Young-Cho Kim)**

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 8월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재: 청운대학교 전자공학과(디지털방송공학과) 부교수

<관심분야>

반도체, 디스플레이, 전자종이