한국산학기술학회논문지
Vol. 9, No. 1, pp. 29-34, 2008

대전입자형 디스플레이 소자의 측정시스템 및 광학특성

김백현[1*], 김성운[2], 이상국[3], 김영조[1]

Optical Characteristics and Measurement System of Charged Particle Type Display

Baek-Hyun Kim[1*], Soung-Woon Kim[2], Sang-Kug Lee[3] and Young-Cho Kim[1]

요 약 대전입자형 디스플레이 소자의 구동을 위하여 주파수, 펄스폭, 진폭, 경사 등을 구현하기 위한 4채널 파형발생기를 제작하였으며, 이 파형발생기로 노란색과 검정색으로 제작한 패널의 선택적 셀구동 신호를 확인하였다. 1° 간격으로 동작하는 광방출부와 수광부, 광방출부의 분광기 연결이 구비된 집적화된 실험장치로부터 CIE 특성, 반사율, 대조비, 시야각을 측정하였으며 1 layer 입자충전일 경우 노란색은 35~40%, 검정색인 경우 15~20%의 반사율을 가지며, 노란색의 색좌표를 확인하였고 파장은 571.2nm였다. 3 layer 입자충전의 경우 광학특성은 향상됨을 확인하였다.

Abstract We fabricated the 4 channel wave function generator with variable frequency, pulse width, amplitude and rising/falling slope to develop driving method of charged particle type display. The selective sell driving is ascertained by fabricated panel with black and yellow particles. To measure CIE point, reflectivity, contrast ratio and viewing angle, experimental apparatus is integrated with optical circular(1°) moving emitting/receiving part and spectrometer connected to emitting part. The yellow particles in glass have reflectivity of 35~40% and wavelength of 571.2nm and black one has reflectivity of 15~20% in case of only 1 layer of particle, and the case of 3 layer the optical property is promoted.

Key Words : e-paper, reflectivity, viewing angle, charged particle, driving system

1. 서 론

플렉시블 디스플레이에 대한 관심은 지난 몇 년 동안 빠르게 증가해왔다. 특히, 이러한 관심을 충족시킬 수 있는 디스플레이로 전자종이가 있다. 최근 디스플레이의 박형화, 대형화와 함께 유연화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 디스플레이 개발동향의 다음 단계로서 전자종이와 같은 형태의 디스플레이에 대한 많은 연구가 수행되고 있으며 이를 사용한 시제품도 이미 발표되고 있다[1].

전자종이란 종이와 같은 느낌을 가지고 있는 디지털 종이이다. 즉 얇고 가볍고 유연성이 있으며 눈으로 봤을 때 눈의 피로가 없고 종이와 비슷한 것을 말하며 정보를 전자적으로 입력, 저장, 삭제할 수 있는 매체를 지칭하며, back light가 필요하지 않은 반사형 디스플레이로 소비전력이 작고 반응 속도가 빠르며 높은 해상도, 넓은 시야각 등의 광학특성을 가지고 있다. 지금 가장 활발한 연구와 시제품 출시에 있어서 앞선 분야는 E-ink사의 마이크로캡슐형이다. 마이크로캡슐은 높은 해상도와 40%의 반사율과 10:1 이상의 고 콘트라스트로 현재 많은 시제품이 있다. 그러나 유체사용으로 수십 ㎳이상의 응답속도로 인하여 동영상 구현의 어려움이 있고 잔상이 오래 남는 문제점이 있다. 또한 A4 크기를 600dpi의 해상도로 기록하는데 40초 이상 소요되며 수동형 구동에서 해상도에 한계가 있으며 고해상도 이미지는 능동형 매트릭스를 요구한다.

본 연구에서는 응답시간에서 우수하며 따라서 수동형 매트릭스 구동에 의해 동영상이 가능한 대전입자형 디스플레이 소자를 제작하였으며, 이 소자를 구동하기 위해 구동전압의 크기, 구동전압 펄스 폭, 구동전압 펄스 수, ramping을 프로그램할 수 있는 구동시스템을 구현하여

이 논문은 2007년 소재원천기술개발사업의 일환으로 연구되었음
[1]청운대학교 대학원 전산·전자공학과
[2]서울시립대학교 전기전자컴퓨터공학부
[3]한국생산기술원구원 환경에너지본부 청정-화학소재팀
*교신저자 : 김백현(baekhyun.kim@gmail.com)

전기적 특성을 평가하였고 아울러 광학특성 평가시스템의 결과를 분석하였다[7].

2. 실험 방법

2.1 패널제작

본 실험에서 쓰인 대전입자는 노란색 대전입자와 검은색 대전입자를 사용하였으며, 대전입자의 크기는 7±2㎛ 정도이며 입자들이 모여 색을 표현할 수 있다.

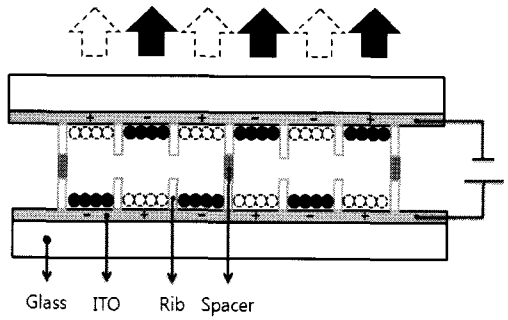


그림 1. 대전입자형 디스플레이 소자의 구조

그림 1은 실험에서 사용한 대전입자의 구조로 보인 개념도이다. 상판 투명전극과 하판 투명전극에 충분한 전압이 인가되면 인가된 전극 극성에 따라 대전되는 대전 입자들이 각 투명전극으로 끌려간다. 이 대전입자는 노란색 대전 입자(-)와, 검은색 대전 입자(+)로 이루어져 있으며 상판 투명전극에 (-)전압, 하판 투명전극에(+)전압이 인가되면 쿨롱력에 의해 대전된 노란색 대전 입자는 상판 투명전극 쪽으로 검은색 대전 입자는 하판 투명전극으로 이동하여 상판에는 검은색이 표시되며 반대로 상판 투명전극에 (+)전압, 하판 투명전극에 (-)전압이 걸리게 되면 노란색 대전입자가 상판 투명전극으로 이동되어 노란색이 표시된다. 대전입자형 디스플레이 소자의 구조는 이와 같이 간단한 구조로 구성되어 있으며 상판과 하판은 구조가 같은 샌드위치 타입이다[2]. 기판은 유리기판을 사용하였으며 유리기판 위에 투명 전극(ITO)을 형성하였으며 그 위에 격벽을 형성하였다. 기본 전극 구조는 매트릭스 구조이며 격벽은 삼각형, 사각형, 오각형 등과 같은 다각형이 될 수 있으며, 본 실험에는 사각형을 사용하였다[3]. 이렇게 제작된 기판에 노란색 대전 입자와 검은색 대전 입자를 상판과 하판에 각각 충전을 하였고 상판과 하판 사이에는 스페이서를 설치하여 합착을 하였다. 스페이서를 설치한 이유는 향후 플렉서블 기판을 사용할 때 유연성을 가지기 쉽기 때문이다. 또한 공정에서의 가로 세로의 비(aspect ratio)가 증가하게 되어 격벽을 낮출 경우 개구율이 증가하여 대조비와 반사율이 향상될 것이다.

2.2 구동시스템 제작

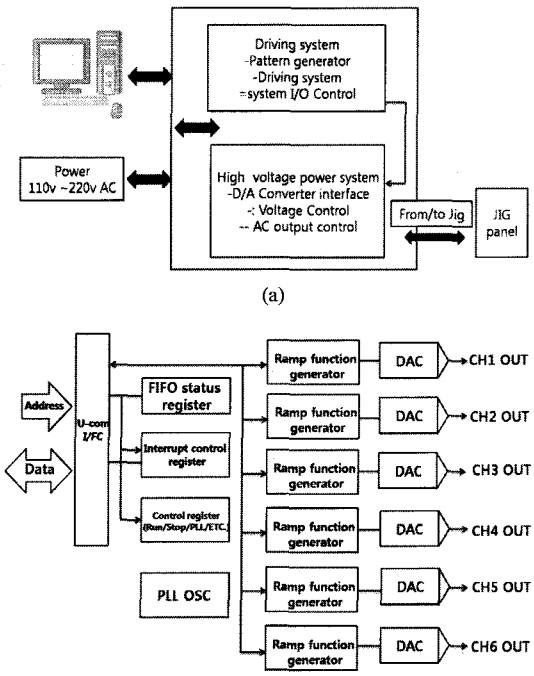


그림 2. 구동시스템의 block diagram

그림 2(a)는 pc에서 나오는 신호를 구동장비로 전달하여 제작된 패널에 인가하는 전체 개념도이며, (b)는 채널의 출력을 보인 것이다. 제작한 구동시스템은 비주기 ramp파형이거나 주기가 매우 긴 복잡한 형태의 ramp파형을 출력하도록 고안된 장비이다. pc로 파형을 프로그램하여 시스템으로 전달한 후 원하는 파형을 출력할 수 있도록 하였다. 이 시스템은 driving system과 high voltage power system으로 구성되어 있으며 driving system은 파형을 만드는 부분이며 짧은 주기의 ramp 파형을 갖는 형태의 발생기에서는 FPGA 내부에 작은 양의 RAM block을 갖고 여기에 파형의 데이터를 넣어 무한순환하는 것으로 함수를 구현할 수 있다. 하지만 매우 긴 주기를 갖거나 한 주기의 패턴이 다양한 경우 이에 대응하려면 매우 큰 메모리를 갖고 있어야 하며 데이터 입력 또한 복잡하게 되므로 pc에서 데이터를 작성하고 이를 마이컴으로 전송하여 저장하고 이를 core에 전달하여 파형을 만드는 방법이다. High voltage power system에서는 micro process와의 인터페이스를 위한 부분과 출력파형의 주파수를 컨트롤하는 PLL회로 6개의 ramp function generator

core를 갖고 있으며 이 출력은 16bit data로 나와 DAC와 OPAMP를 구동하여 각 채널로 원하는 파형을 출력하게 된다.

2.3 측정시스템의 집적화

그림 3 (a)는 상판에 노란색 대전입자를 충전하고 하판에는 검은색 대전입자를 충전하여 합착한 이미지이다. (b)는 pc에서 프로그램을 한 파형을 오실로스코프를 이용하여 파형과 전압을 측정할 수 있는 장비를 나타낸 것이다. (c)는 제작된 대전입자형 소자에 전압을 인가할 수 있는 구동시스템이며, 1~4채널에서 -400V~+400V 까지 전압을 출력할 수 있고 임의의 파형, 구동전압의 크기, 구동전압 펄스 폭, 구동전압의 펄스 수 등을 pc에서 프로그램으로 작성하여 파형을 나타낼 수 있다. 가능한 파형은 DC, 구형파, ramp 파형이 있다. (d)는 소자의 응답속도를 측정할 수 있는 적분구와 증폭기이다. 제작된 소자 위에 광원과 적분구를 위치하여 광으로부터 나오는 빛을 소자에 입사하여 반사되는 빛의 양을 전기적 신호로 변화하여 데이터를 추출할 수 있다. 이때는 전기적 신호가 약하므로 증폭기를 사용하였다. (e)는 소자로부터 나오는 신호를 이 장비를 이용하여 추출할 수 있다. 이는 최소 fA까지 측정 가능하며, 소자로부터 나오는 미세한 신호도 감지할 수 있다.

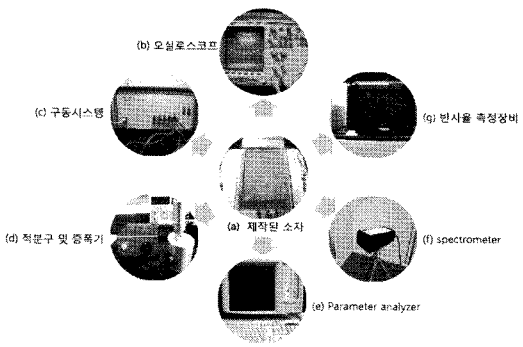


그림 3. 측정시스템의 개략도

(f)는 반사율과 시야각, CIE 1931 chromaticity diagram를 측정할 수 있으며, 원리는 45°나 90° 각도로 일정 세기와 일정량의 빛을 쏘아 반대편에서 그 값을 읽는 원리이다. 발광(빛이 발산하는 부분)과 수광(빛이 들어오는 부분)의 각도를 변화시켜 다양한 각도에서 반사율을 측정할 수 있다. 광원은 Halogen Lamp를 사용하였고 조사각도는 -85°~+85°, 0.1° 간격이며 수광각도는 -85°~+85°, 10°, 0.1° 간격으로 측정할 수 있다. 광원과 수광부 각도를 0°, +45°에 또는 -45°, +45°로 고정하고 백색표준판(완전확산면)을 시료 위치하는 곳에 위치한다[7]. 이는 Sample에서 반사광과 동일한 조건을 백색표준판에서의 반사광의 비율을 반사율이라고 정의하기 때문에 처음에 백색표준판의 교정이 필요한 것이다. 교정이 끝나고 나면 제작된 소자를 위치한 후 발광부 0°에 고정하고 수광부 10°에서부터 80°까지 이동을 하여 측정을 한다. 이것은 시야각을 측정할 수 있는 방법이며, 발광부 45°에 고정하고 수광부 45°로 고정하여 측정하며 반사율과 색좌표(CIE 1931 chromaticity diagram)의 데이터를 추출할 수 있다. (g) pc에서 컨트롤하여 디스플레이나 광원의 휘도, 색좌표, 스펙트럼, 색온도 및 연색성 등의 데이터를 추출할 수 있다. 이는 눈으로 확인 할 수 없는 미세한 색의 변화를 관측 할 수 있으며 소자의 위치를 지정하여 측정 가능하다. 이는 향후 그레이 코드에 사용할 수 있다. 본 연구에서는 그림 3의 (a)~(g)까지의 장비를 이용하여 대전입자형 디스플레이의 광학적 및 전기적 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 토의

본 연구에서 사용한 대전입자를 이용하여 소자를 제작하였고 구동시스템 및 반사율 측정 장비 등을 이용하여 측정 및 분석을 하였다.

그림 4는 노란색 대전입자와 검은색 대전입자를 상판과 하판에 따로 충전한 이미지를 보여주고 있다.

격벽의 높이가 20㎛이고 대전입자의 크기는 7±2㎛정도 이며 입자가 1 layer정도 충전된 상태이다. 격벽의 높이를 달리하여 대전입자의 layer층을 선택할 수 있다. 1 layer 층은 반사율과 시야각, 색좌표(CIE 1931 chromaticity diagram)에 영향을 미치며, 작은 입자를 가지고 3 layer정도 충전한다면 선명한 이미지를 볼 수 있다.

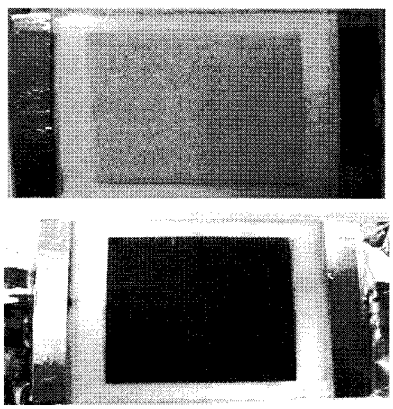
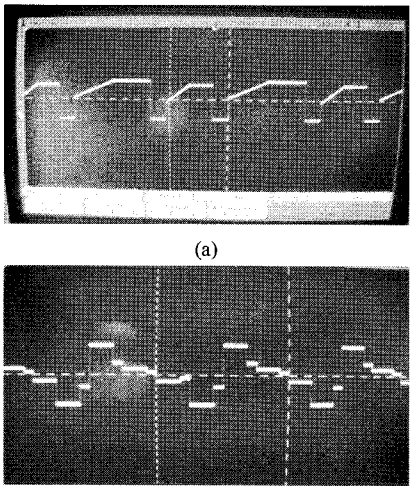


그림 4. 대전입자의 충전

구동시스템을 이용하여 다양한 방법으로 구동전압의 데이터를 얻을 수 있었다.

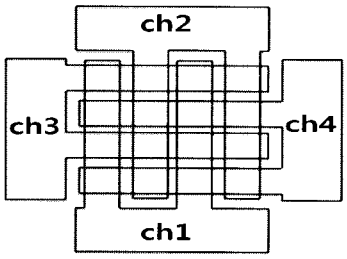


(a)

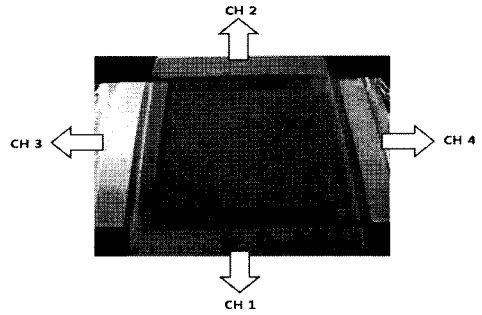
(b)

그림 5. 구동전압의 파형

제작한 구동시스템은 여러가지 복잡한 파형을 만들 수 있으며 그림 5(a)에서와 같이 다양한 전압을 인가할 수 있고 펄스 폭, 펄스 수, ramping을 확인하였다. 제작된 소자에 전압을 인가하기 위해서 먼저 PC상에서 파형을 프로그램하였다. 제작된 소자의 구동조건을 모르기 때문에 그림 5(b)에서와 같이 여러 가지의 파형을 만들었으며, 프로그램한 파형과 출력에서 나오는 파형을 확인하기 위해서 오실로스코프를 사용하여 관측하였다. 0 V에서 시작하여 (-) 전압을 인가하고 마지막은 (+) 전압을 인가하며, 극성을 바꾸어서 주기적으로 변화시켜 현미경을 이용하여 대전 입자의 이동을 관찰하여 aging 전압을 찾았다. aging을 통하여 대전 입자는 이동을 활발하게 하며 구동전압을 낮게 한다. aging 이후 구동전압을 정하게 되는데 이때에는 구동전압의 크기, 구동전압 펄스 폭, 구동 전압 펄스 수 등의 다양한 구동방법으로 구동 전압을 찾았으며 60volts 이하에서도 구동을 확인하였다.



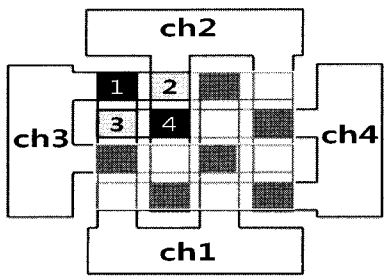
(a)



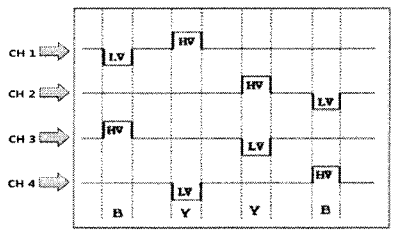
(b)

그림 6. 대전입자형 디스플레이 소자의 전면 구동

pc에서 프로그램을 한 후 구동시스템으로 전달되며 4개의 출력 채널을 그림5와 같이 ch1, ch2 및 ch3, ch4를 연결하였다. 상판에 (+)전압을 하판에는 (-)전압을 인가하면 그림 6에서 보이는 것과 같이 선택된 matrix에 의해 상판에는 노란색을 볼 수 있으며, 하판에는 검은색을 볼 수 있다.



(a)

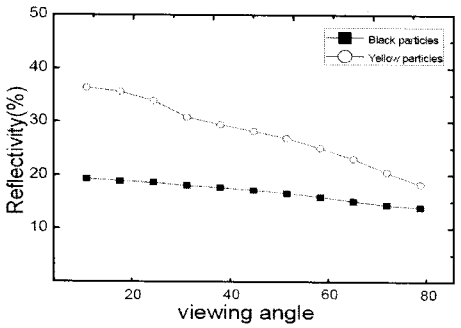


(b)

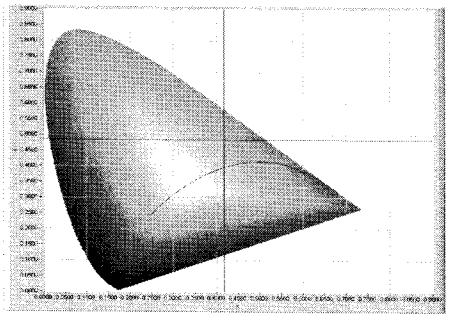
그림 7. 구동전압의 인가 방법

전면 구동은 상판과 하판에 대전입자의 반대 극성을 인가해 주면 구동을 하게 된다. 그림 7는 제작된 panel을 선택적으로 구동을 하기 위해여 3개의 구동 전압 high voltage(HV), middle voltage(MV), low voltage(LV)을 4개의 채널에 인가한 것을 보인 것이다. 상판과 하판에는 소자에 전압을 인가하는 전극이 4개의 채널(chanel, ch1, ch2, ch3, ch4)로 패터닝되어 있으며, 선택적인 셀 구동을

위해서 ch1에 음전압을 ch3에는 양의전압을 인가하여 첫 번째 셀을 구동했다. 그리고 두 번째 셀을 구동하기 위해서는 ch1에 양의전압을 ch4에는 음의전압을 인가하여 구동했으며, 세 번째 셀을 구동하기 위해서 ch2에 양의전압을 인가하고 ch3에 음의전압을 인가하여 구동했다. 그리고 네 번째 셀을 구동하기 위해 ch2에 음의전압을 ch4에 양의전압을 인가하여 셀을 선택적으로 구동하였다.



(a)



(b)

그림 8. 반사율과 색좌표

그림 8은 반사율과 각도 변화에 따른 시야각, 색좌표(CIE 1931 chromaticity diagram)를 나타낸 것이다. 8(a) x축은 10°~80°까지의 각도를 나타내며 Y축은 반사율을 나타낸다. 발광부를 0°에 고정하고 수광부를 10°~80°까지 10°의 간격으로 이동을 하면서 측정하였다. 노란색 대전입자의 반사율은 35~40%의 반사율을 가지고 있으며 검은색 대전입자의 반사율은 15~20%의 반사율을 가지고 있다. 노란색과 검은색의 반사율이 차이가 있는 것은 대전입자의 layer이 1 layer이기 때문에 그 밑으로 다른 색의 입자가 비추어 지기 때문이다. 45°에서 반사율이 30%로 시야각이 작아지기 시작해서 이후 감소하지만 대전입자의 충전 layer을 늘린다면 구동전압은 증가하지만 반사율과 시야각은 향상 될 것이다. 그림 8(b)는 대전입자형 디스플레이의 색좌표(CIE 1931 chromaticity diagram)를 나타낸 이미지이며 노란색의 색좌표는 X=0.4178, Y=0.4843, u=0.4178, u′=0.5465인 지점에서 노란색을 관찰할 수 있었다. 이때의 파장은 571.2㎚인 지점에서 측정할 수 있었으며 이 지점은 노란색이 아닌 Greenish Yellow인 지점이고 검은색 대전입자와 노란색 대전입자가 서로 비추어지는 현상 때문에 완전한 노란색을 측정할 수 없었다. 향후 입자의 개발이 이루어져서 입자가 작아지고 충전 layer을 3 layer 이상 충전한다면 이러한 문제는 개선 될 것으로 생각된다.

4. 결론

플렉시블한 전자종이의 상용화를 위한 연구동향과 함께 수동형 구동이 가능하여 TFT 구동을 하지 않는 저가격의 동영상을 충족시킬 수 있는 전자종이가 필요하다. 이러한 요건을 만족시킬 수 있는 대전입자형 디스플레이의 구동을 위한 채널 파형발생기를 제작하였으며, 이는 광학측정시스템과 컴퓨터로 집적화하여 구동과 동시에 측정이 가능하도록 하였다. 패널에의 적용은 1 layer로 충전된 입자를 사용하였으며 이는 광학특성을 떨어뜨리지만 표준을 위한 기준점으로 삼았다. 1 layer임에도 불구하고 광학특성은 대조비가 2:1 이상임을 확인하였다. 이는 향후 입자의 크기가 작아지고 균일해지면 3 layer 이상으로 충전하다면 광학특성은 좋아 질것이다. 본 연구는 전기 및 광학적 특성을 평가하기 위하여 구동 시스템과 집적화된 실험 장치를 제작하였다. 향후 제작된 소자의 평가 및 분석에 용이하게 활용될 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] R.Hattrori, S.Yamada, Y.Masuda, N.Nihei and R.Sakurai, "Ultra Thin and Flexible Paper-Like Display using QR-LPD Tehnology," DIGEST O4,oo. 136-139, (2004).

[2] Takashi Kitamura, "Electronic Paper Based on particle Movement Electrophoretic and Toner Display."IDW 06, pp.587-589, (2006).

[3] M.Omoani,"Flexible Display are Expected to Create Novel Fields for Visual information," J. of the institute of image information and TelevisionEngineer 1256-1261, (2005).

[4] I. Shiyanovskaya, 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).
[5] H. Fujikake, T. Murashige, H. Sato, H. Kikuchi, T. Kunita and Y. Suzuki, "Fabrication of Single-Substrate Liquid Crystal Devices Using Two-Step Coating Process" Euro Display Symposium Digest, pp. 510-513, (2005).
[6] M. Omodani, "Flexible Displays are Expected to Create Novel Fields for Visual Information" J. of The Institute of Image Information and Telvision Engineers, pp. 1256-1261, (2005).
[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).
[7] S.H. Kwon, S.G. Lee, W.K. Cho, B.G. Ryu and M.B. Song, ""Reflective Paper-Like Display using Oppsite-Charged Two Particles,"" The 6th IMID'05 Diges, pp.423(2005)
[8] W.K. Cho, S.H. Kwon, S.G. Lee, N.J. Kim, B.G. Ryu and M.B. Song, ""Development of Reflective Paper-Like Display with Tribo-electrically Charged-Polymer Particles,"" JID, vol.6, no.3, 2005

김 백 현(Baek-Hyun Kim) [준회원]

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

<관심분야>
디스플레이, 전자종이

김 성 운(Soung-Woon Kim) [정회원]

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

<관심분야>
반도체, 디스플레이, 전자종이

이 상 국(Sang-Kug Lee) [정회원]

- 1983년 2월 : 부산대학교 화학과 (이학사)
- 1985년 2월 : KAIST 화학(고분자) (이학석사)
- 1993년 2월 : The University of Akron 고분자공학 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 환경에너지본부 청정-화학소재팀

<관심분야>
화학, 고분자, 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