

MEMS 소자를 이용한 Qualcomm Display 기술

이 호 진 (숭실대학교 정보통신전자공학부)

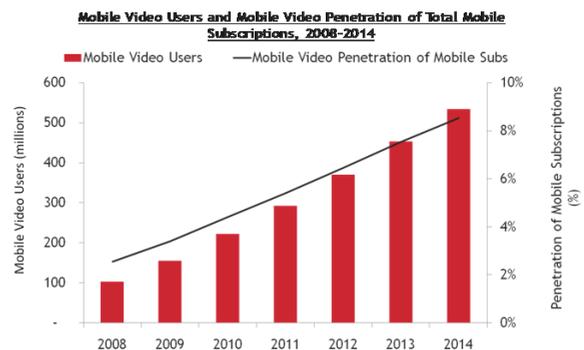
I. 서 론

최근 LCD (Liquid Crystal Display) 디스플레이 및 AM-OLED (Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode) 디스플레이 기술의 비약적인 발달은, 노트북 PC, Tablet PC, 스마트 폰, 휴대용 게임기, 그리고 휴대용 GPS 등과 같은 디스플레이를 기반으로 하는 휴대용 전자 기기를 중심으로 새로운 개인용 휴대 전자 기기 시장을 주도하고 있으며, 이와 같은 현상은 향후 10여년간 폭발적으로 지속 증가할 것으로 예상된다. Pyramid Research의 연구 조사에 따르면, 2012년 말까지 약 4억명의 핸드폰 사용자가 Mobile TV를 사용할 것이라고 예상하였다^[1]. 이것을 해당되는 수익성면으로 살펴보면, Informa Telecoms and Media의 보고에 따르면, 모바일 TV와 비디오로부터의 수익은 2006년의 25억 달러에서 2011년말 84억달러로 증가할 것이라 예상하였다^[2].

이와 같이 휴대용 전자 시장의 증가 수요가 증가함에 따라, 개인 사용자들 또한 휴대용 전자기기들에 대하여 발전된 기술의 탑재를 요구하게 되었다. 특히 디스플레이의 중심으로 휴대용 전자 기기에서는 디스플레이의 화질과 충전 완료된 배터리에 대한 디스플레이의 재생 가능 시간이 중요한 요소가 되었다. 하지만, 현재의 LCD 디스플레이 기술의 경우 소비 전력과 디스플레이의 화질, 모두를 동시에 성취하기엔 어려움이 있는 것이 사실이다. 향상된 디스플레이의 화질은 더 큰 화면과 높은 해상도, 밝은 휘도, 그리고 더 풍부한 색의 표현의 조합으로 성취

될 수 있다. 하지만, 이러한 화질의 향상은 LCD 디스플레이에서의 심각한 전력 소비를 초래하며, 결과적으로 충전 배터리당 디스플레이의 재생 가능 시간을 현저히 감소시킨다. 이러한 휴대용 전자 기기에서 가용 시간의 감소는 개인 사용자들에게는 비호감적인 요소로 작용되며, 이에 따라 시장에서의 마케팅 전략에도 악영향을 끼치게 된다. 따라서, 전자 제품 구상 및 디자인의 관점에서 볼 때, 사용되는 디스플레이 기술은 소비 전력과 성능 사이에서 균형을 이룰 수 있도록 선택되어야 한다.

최근 미국 Qualcomm사에서 개발한 Mirasol[®] 디스플레이 기술^[3]은 자연 현상을 바탕으로 빛의 간섭을 이용한 뛰어난 색의 표현과 태양광 아래서의 높은 시인성을 확보하였다. 동시에 MEMS 기술 기반으로 초 저전력 소모와 고속 비디오 재생이 가능하여, 앞서 언급한 LCD 디스플레이 기술이 가지고 있던 소비 전력과 성능사이의 균형의



[그림 1] 휴대용 비디오 사용자 수요와 이동 통신 가입자에 대한 휴대용 비디오 시장 확대 규모 예측^[1]

한계를 넘을 수 있는 가능성을 보여주었다. 이에 본 기고에서는 Mirasol[®] 디스플레이의 소자 기술에 대해 간략히 살펴보고 특히 그 중 Mirasol[®] 디스플레이의 MEMS 소자를 이용한 구동 기술에 대해 상세하게 살펴보고자 한다.

II. Qualcomm MEMS 소자 기술 (IMOD)

앞서 소개한 바와 같이, MEMS 기반의 디스플레이 기술은 십 수 년간 비약적인 발전을 해왔다. 특히 휴대용 프로젝터, 고화질 (HD: High Definition) TV, 그리고 디지털 영화관 등의 프로젝션 형태의 대형 디스플레이를 구현을 중심으로 많은 연구가 이루어졌다. 이러한 프로젝션 형태의 디스플레이에 있어, MEMS 소자는 한 색당 14 bit까지 gray scale의 표현이 가능한 빠른 스위칭 속도와 65% 이상의 높은 광학적 효율, 그리고 높은 대조비^[5,6]를 갖는 특유의 특성을 바탕으로, 공간적인 광학 변조기로서 탁월한 역할을 하였다. 또한 이러한 MEMS 기반의 디스플레이 기기는 10만 시간이 넘는 동작 수명을 가지고 매우 안정적으로 동작할 수 있다는 것을 보여주었다^[7]. 하지만 현재까지의 MEMS 기반 디스플레이는 모두들 실리콘 Wafer 기반에서 Indirect-View 형태의 2인치 미만의 소형 디스플레이를 제조하여, 광학적인 효과를 이용한 대형 프로젝션 디스플레이를 구현하는 기술이었다.

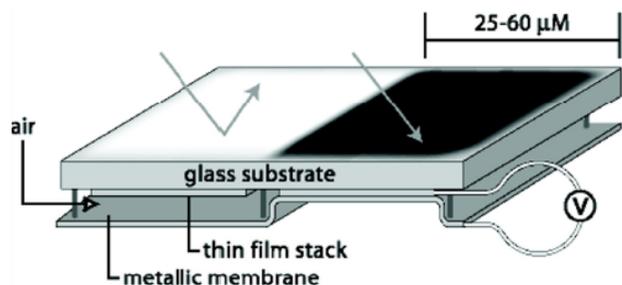
최근 Qualcomm사에서는 이러한 성숙된 MEMS 기술과 기존의 LCD 제조 기술을 바탕으로 Direct-view 형태의 반사형 디스플레이 기술을 구현하는 데 성공하였다. Qualcomm의 디스플레이 기술은 자연에서 흔히 볼 수 있는 광학 현상을 이용한 것으로써 나비의 날개, 딱정벌레의 껍질, 또는 공작새의 깃털 등에서 볼 수 있는 빛의 간섭을 통한 색을 구현하는 기술이다. 자연에서 색이 만들어지는 효과를 그대로 디스플레이 기술에 적용함으로써 (Biomimicry), 환경 친화적이며 뛰어난 태양광 시인성을 가진 저전력의 디스플레이이다.

Direct-View 디스플레이로써, Qualcomm의 Mirasol[®] 디스플레이 기술은 간섭의 원리에 기반하여 동작하는 Interferometric Modulator (IMOD) 소자를 구현하여 반사되는 빛의 색을 결정한다. IMOD 화소는 대기압 하에서

십 수 μs 단위로 빠른 스위칭이 가능하다. 또한 IMOD 기술을 이용하여 제작된 디스플레이는 60% 이상의 반사도와 15:1 이상의 대비율, 그리고 5V 이하의 구동 전압을 가진다. 비록 구조적으로는 간단하지만, IMOD 소자는 색 변조의 기능을 가지며, 편광판 또는 Color filter를 사용하지 않고 Color를 재현할 수 있다.

1. IMOD의 구조

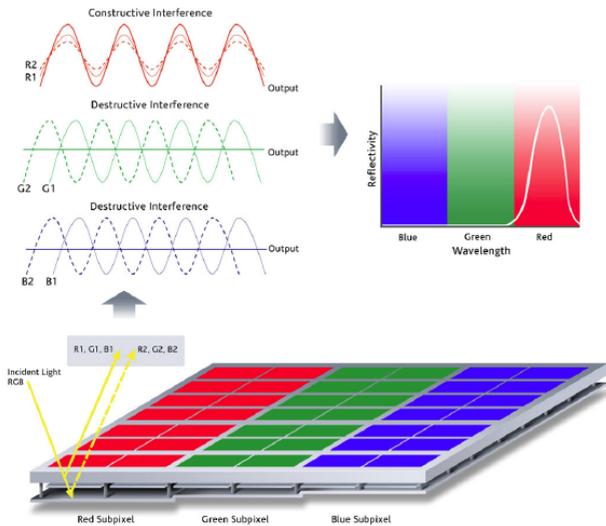
IMOD 소자의 기본적인 구조는 [그림 2]와 같다. IMOD 소자들은 유리와 같은 투명한 기관 위에 제조되며, 측면적 차원으로는 마이크로 소자이고, 광학적 특성을 결정짓는 수직적 차원에서는 나노미터 크기의 소자이다. 광학적 공진 MEMS cavity는 일련의 박막 증착과 패터닝 공정을 거친 뒤, 표면 미세 기계 가공 (Micromachining)에 의하여 형성된다. 광학 박막층으로부터 움직이는 반사 화소막 (Membrane)을 분리시키는 공극 (Air gap)을 형성하기 위하여, 희생층의 제거 공정이 사용된다. 박막층 내의 부분적인 반사판과 반사 화소막 사이의 간격 (Air Gap)은 이러한 광학적 간격 사이에서 반사되는 빛이 보강 간섭과 상쇄 간섭을 가질 수 있도록 선택되며, 보강 간섭이 발생하는 파장이 IMOD 소자로부터 반사되는 빛의 색을 결정하게 된다. Cavity의 공극 (air gap) 부분의 높이를 조절함으로써 서로 다른 color의 빛을 반사시키게 된다. 본질적으로, IMOD 소자는 비효율적인 후방조명 (Backlight)에 의한 전력을 사용하기 보다는, 주변의 빛을 재활용하며, 이 특징은 Mirasol[®] 디스플레이가 태양광과 같은 고휘도의 환경에서도 저전력과 고시인성의 특성을 갖도록 한다.



[그림 2] IMOD 소자 구조의 개략도^[4]

2. Color Generation (색의 구현)

기본적으로 Mirasol[®] 디스플레이는 Fabry-Perot etalon과 비슷한 광학형 공진 cavity이다. 소자는 스스로 지탱이 가능한 변형되는 반사형 화소막 (Membrane)과 광학형 공진 cavity의 한 방향의 거울로 동작하는 박막층으로 이루어져 있으며, 두 부분 모두 투명한 기판 위에 형성된다. 외부의 빛이 위의 구조에 조사될 때, 빛은 박막층의 위 부분과 반사형 단위막 사이의 양 면상에서 모두 반사가 발생하게 된다. 광학 Cavity의 높이에 따라서, 단위막으로부터 반사되는 특정 파장의 빛은 박막층의 위쪽 거울에서부터 반사되는 빛과 약간의 위상차를 갖게 된다. 그림에서 보이는 바와 같이, 이 위상 차이에 따라, 특정 파장의 빛은 보강 간섭을 일으키고, 그 외의 다른 파장 대의 빛은 상쇄 간섭을 일으킨다. [그림 3]에서 보이는 바와 같이 Mirasol[®] 디스플레이 화면은, 절연층으로 보호되어 있는 전도성 박막층에 전압을 인가하여 화소막 (Membrane) 상태를 조절함으로써, 색의 선택 즉, 적색, 청색, 녹색과 검정색의 선택을 할 수 있다. 전압이 인가될 때, 정전기에 의한 힘에 의하여 화소막이 아래쪽으로 압착이 되며, 이러한 광학 cavity의 변화는 인간의 눈에 보이지 않는 자외선 파장대에서 보강 간섭을 일으키게 되고, 따라서 화면 위의 이미지는 검정색으로 보이게 된다. 총 천연색 디스

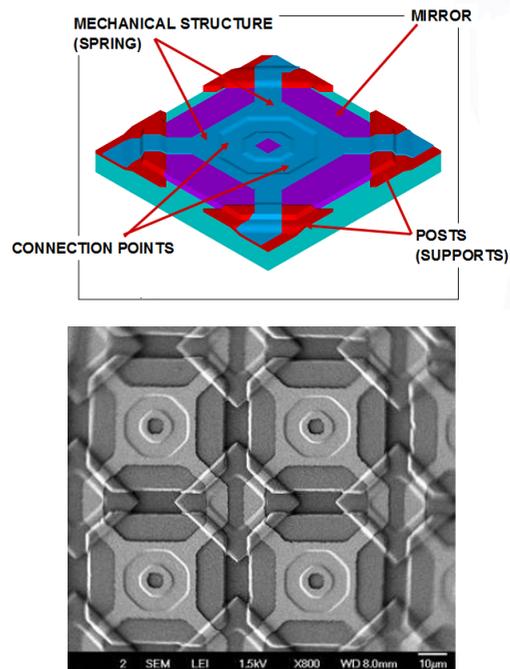


[그림 3] 색을 구현하기 위하여, 박막층과 Mirror로부터 반사되는 빛과 간섭 현상을 보여주는 IMOD 소자의 구조 [8]

플레이는 그림에서 보이는 바와 같이, 각각 적색, 녹색, 청색 파장의 빛을 반사하는 IMOD 소자들을 공간적으로 순차적으로 배치함으로써 형성될 수 있다. 간섭에 의한 색의 구현은, 디스플레이로 조사되는 대부분의 빛을 흡수 또는 낭비하는 기존의 color filter와 편광판을 이용한 방법에 비하여 매우 효율적이며, 초저전력 구동이 가능한 Mirasol[®] 디스플레이의 핵심 기술이다.

3. IMOD 소자의 제조

Mirasol[®] 디스플레이는 일반적인 액정 디스플레이 (Liquid Crystal Display)의 박막 트랜지스터 (Thin-Film Transistor) 공정을 사용하여, IMOD 소자를 구성하는 미세 전기 기계 시스템을 생성한다. IMOD의 화소막 (Membrane)의 Mirror는 평평하고 알루미늄 합금을 박막 형태로 증착하여 만들어지며, 이 Mirror는 절연층과 금속층으로 이루어진 스프링의 역할을 하는 기계적인 구조에 연결된다 ([그림 4]). Mirror 층을 기계적인 스프링 구조와 분리함으로써, 대비율에 영향을 주는 빛의 난반사를 일으



[그림 4] IMOD의 화소의 기계적 구조 디자인 및 제조된 IMOD 소자의 SEM 이미지 (Courtesy of Qualcomm MEMS Technologies)

킬 수 있는 Mirror 표면상의 굴곡을 피할 수 있도록 고안되어 있다. Mirasol[®] 디스플레이가 만들어진 IMOD 소자 array의 하나의 예로써는 화소의 크기는 53 μm , 그리고 공극 (Air gap)의 높이는 각각의 색에 따라 약 170 nm (녹색), 260 nm (적색), 그리고 340 nm (청색) 으로 구성된다. 이와 같은 크기를 갖는 9개의 단위 화소막 (색마다 각 3개씩의)이 159 μm 내에서 1개의 color 화소를 형성한다^[9].

화소막의 “up” 위치는 Mirror를 구성하는 금속 박막 물질의 인장 강도에 의해서 유지 된다. 다른 어느 힘도 부가되지 않은 상태에서는 화소막은 자연적으로 “up” 위치로 돌아가게 된다. 금속 박막으로 이루어진 Mirror층과 공극 (Air gap) 아래에 부분적인 반사판으로 이루어진 전도성 박막층을 집적화함으로써, 상층 Mirror와 하층 전극 사이에 다른 전압을 인가할 수 있으며, 정전기적인 인력에 의하여 움직이는 Mirror를 아래로 끌어당기게 된다.

4. IMOD 소자의 구동 원리

IMOD 소자의 가장 탁월한 특징은 이중 안정성이다. 이것의 특징은 Data 값이 쓰여지고 유지되는 데에 낮은 값의 bias로도 가능하도록 하며, 이와 같은 이중 안정성은 IMOD 소자의 전기 기계적인 특성의 결과이다.

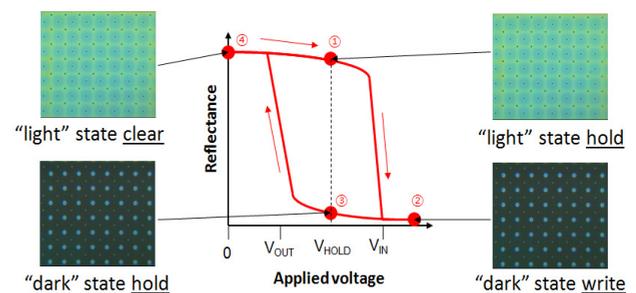
IMOD 소자를 조정하기 위해서는, 금속층으로 이루어진 IMOD의 Mirror의 “Up” 상태와 “Down” 상태, 즉 이 두 상태를 지시하면 된다. 전장에서 언급한 바와 같이, IMOD 소자의 Mirror는 자연적으로 “up” 상태를 유지하려고 한다. 이 Mirror를 아래로 당기기 위해서는, 움직이는 금속 Mirror 부분과 하부의 전도성 전극사이에 전압의 차이, 즉 Pull-in 전압 V_{in} 을 인가시켜야만 한다. 흥미롭게도 일단 “down” 상태로 된 후에는, 금속 Mirror는 이 전압의 차이가 줄어들더라도 이 상태를 유지한다. 그러므로, IMOD 소자를 구동하기 위해서는, 먼저 “pull-in” 전압을 인가하여 Mirror를 아래로 당기고, 그후 “Hold” 전압인 V_{HOLD} 를 인가하여 그 상태를 유지한다. 그림에서 보이는 바와 같이 V_{HOLD} 의 범위는 $V_{OUT} < V_{HOLD} < V_{IN}$ 과 같으며, 여기서 V_{OUT} 은 금속 Mirror가 원래의 “up” 상태로 돌아가기 시작하는 전압이다.

IMOD 소자의 Hysteresis 구동은 다음과 같은 순서로

진행된다. 1) V_{HOLD} 의 정전압을 인가하여 IMOD 화소를 반사 모드 상태로 유지시킨다. 2) 짧은 시간 동안 양의 값을 가진 “Write” 전압 pulse를 인가함으로써, IMOD 화소를 “Dark” 모드 상태로 변화시킨다. 3) “Write” 전압 pulse가 사라진 후에도 같은 V_{HOLD} 전압은 화소를 “Dark” 상태로 유지한다. 4) IMOD 화소에 짧은 시간 동안 음의 값을 가진 “un-write” 전압 pulse를 인가함으로써, 화소막은 다시 반사 모드 상태로 돌아간다.

[그림 5]에서 보이는 것처럼, IMOD 소자는 “up” 상태에서 보강 간섭에 의한 color를 나타내고, “down” 상태에서는 상쇄 간섭에 의하여 검정색으로 보이게 된다. 이와 같은 IMOD 화소막의 히스테리시스 (Hysteresis)는 V_{HOLD} 전압을 인가하여, 전류를 흐르게 하지 않고도, 즉 전력의 소비가 없이도 현재의 상태를 유지하도록 한다. 다시 말하면, 특정 시간동안 이미지의 변화가 거의 없는 문자 화면 또는 E-book 화면과 같은 경우, 실제적으로 전력의 소비가 없이 화면을 유지할 수 있게 된다.

화소막의 “up” 상태와 “down” 상태 사이의 스위칭은 매우 빨리 일어난다. 여기서 언급된 IMOD 소자의 경우 스위칭 시간은 약 10~15 μsec 정도이며, 이것은 기존의 TFT-LCD와 같은 수준의 고 해상도의 비디오 화면을 재생할 만큼의 속도이다. 이 스위칭의 속도는 IMOD 소자의 구조 및 Design에 따라 증가 또는 감소가 가능하며, 이와 같은 빠른 속도는 IMOD 소자의 작은 크기와 질량, 그리고 간단한 구조에 기인한다.



[그림 5] 인가 전압에 따른 IMOD 소자의 구동 상태의 변화 및 Hysteresis 곡선에 의한 IMOD 소자의 메모리 효과 (Courtesy of Qualcomm MEMS Technologies)

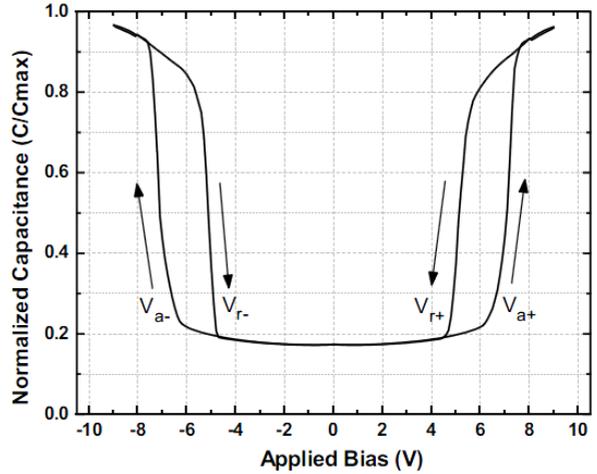
III. Qualcomm MEMS Display 기술 (Mirasol®)

1. Mirasol® 디스플레이의 구동

앞서 언급한 바와 같이, IMOD 소자의 빠른 스위칭 속도는 여러 가지 장점을 제공한다. 이와 같은 빠른 스위칭 속도를 갖는 경우, 디스플레이의 구동 장치를 간략화 할 수 있으며, 또한 메모리에 대한 요구사항을 간단화 할 수 있다. 또 다른 장점으로는 넓은 범위에 걸쳐서 IMOD 화소막의 “up” 상태와 “down” 상태 간의 시간적 비율을 조절 할 수 있다는 것이며, 이 비율을 조절함으로써 색의 휘도의 변화 또는 Gray scale의 효과를 생성할 수 있다. Mirasol® 디스플레이의 경우 IMOD 소자의 스위칭 속도를 이용하여, 4 bit 또는 그 이상의 gray scale의 표현이 가능하며, IMOD 소자의 공간적 Dithering (디더링) 기능과 합쳐져서 기존의 LCD 기술과 비견될 만한 색의 재현이 가능하다.

이러한 빠른 스위칭 속도와 기계적인 메모리 효과(hysteresis)는 IMOD 소자의 조정을 매우 쉽게 만들 수 있도록 하였다. 따라서 복잡한 Active-matrix 의 구동 대신, 매우 간단한 횡방향과 종방향의 addressing 방법만을 이용한 passive-matrix 구동 방식만으로도 IMOD 소자의 조정이 가능하다. 이러한 방법은 IMOD 소자 array에서 트랜지스터를 사용하지 않아도 디스플레이의 구동이 가능하게 하였고, 결과적으로 제조 공정 자체가 매우 간단화 되었다. 따라서 IMOD 소자를 이용할 경우 기존의 다른 디스플레이 시스템의 구동 기기들과 쉽게 연동될 수 있다는 장점이 있다.

IMOD 소자는 capacitive 한 소자로서, [그림 6]에서 보이는 바와 같이 “양극성”의 특징을 갖는다. 즉, 양 또는 음의 극성을 가진 양쪽 전압값에 의하여 작동이 가능하다. 또한, 그림에서 보이는 바와 같이 양극과 음극 방향의 hysteresis 곡선은 거의 비슷한 형태를 갖는다. 따라서, Mirror 전극과 하부의 부분 반사 전극 사이에 이상적인 절연체가 존재한다면, 양극성의 offset인 $V_{offset} = (V_{a+} + V_{a-})/2$ 는 “0”의 값을 갖는다. 하지만, 일반적인 경우, IMOD의 절연막층에 전하가 존재하게 되고, hysteresis 곡



[그림 6] Capacitive IMOD 소자의 커패시턴스-전압 특성 곡선. 여기서 V_{a-} 는 V_{in} , 그리고 V_{r-} 는 V_{out} 과 동일한 값을 의미한다 [4]

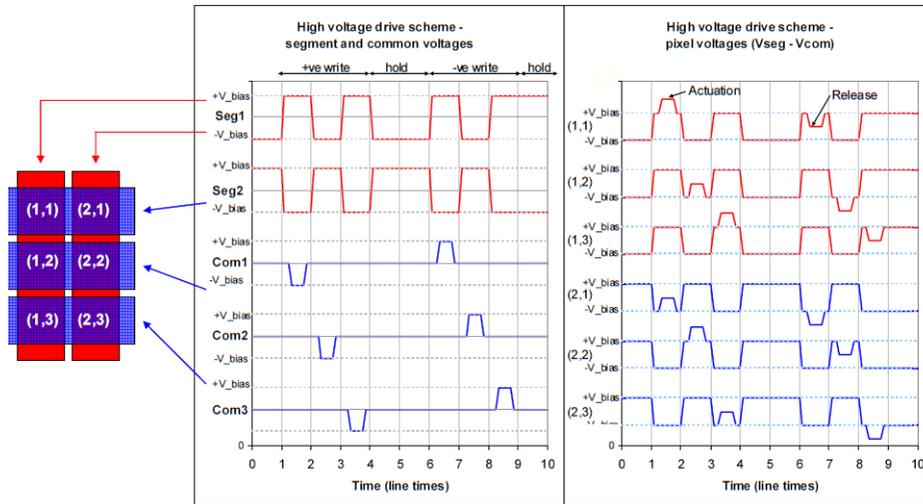
선은 영점에 대하여 비대칭적으로 변하며, 따라서 offset 전압은 “0”V로부터 절연막에 존재하는 전하의 극성에 따라 변하게 된다.

Mirasol® 디스플레이의 passive-matrix 구동을 살펴보면, [그림 7]은 Mirasol® 디스플레이의 기본 구동 파형을 보여준다. 즉, 종방향 (Segment)과 횡방향 (Common)의 신호 파형과 그에 따른 결과적인 화소에서의 파형을 같이 보여주고 있다. 각각의 주요한 특징은 다음과 같다.

- Bias 전압인 $V_{BIAS} (=V_{HOLD})$ 는 hysteresis 곡선상의 가운데 부분으로 선택한다
- 종방향 (segment) 전압은 $V_{OS} + V_{BIAS}$ 와 $V_{OS} - V_{BIAS}$ 사이에서 스위칭을 한다. 여기서 V_{OS} 는 offset 전압이며, [그림 7]에서는 간략하게 0V로 나타내었다.
- 횡방향 (common) 전압은 일반적으로 0V로 고정되나, 해당되는 횡방향이 선택될 때에는 $+V_{BIAS}$ 또는 $-V_{BIAS}$ 로 스위칭된다.
- 따라서 선택되지 않은 열의 화소들은 아래와 같이 신호가 인가된다.

$$V_{PIX} = V_{OS} \pm V_{BIAS}$$

여기서 화소 전압의 극성은 해당 Frame (양성 인가 또는 음성 인가)과 종방향 신호라인으로 인가 되는 화소 data 값에 따라 정해진다. V_{BIAS} 의 값이 정확하



[그림 7] Mirasol® 디스플레이의 passive-matrix 구동 파형의 예 [10]

다면, 화소는 현 상태를 유지하게 된다.

- 선택된 열의 화소들은 아래와 같이 작동 또는 해제 상태로 유도가 된다.

작동, 양성(+) Frame: $V_{PIX} = V_{OS} + 2 \times V_{BIAS}$

작동, 음성(-) Frame: $V_{PIX} = V_{OS} - 2 \times V_{BIAS}$

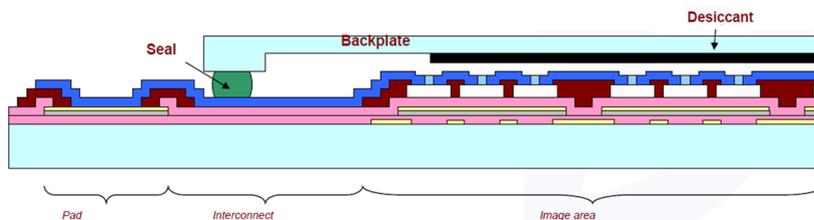
해제, 양성 또는 음성 Frame: $V_{PIX} = V_{OS}$

화소들은 최적의 전압 ($V_{PIX} = V_{OS}$)에서 해제되며, 그리고 약 $2 \times V_{BIAS}$ 의 증가 구동 (over-drive) 값에서 작동이 된다.

2. Mirasol® 디스플레이의 밀봉 (encapsulation)

안정적인 Mirasol® 디스플레이의 구동을 위해서는 습도가 낮고 불순물이 없는 환경이 필요하다. 하지만, 다른 MEMS 기반의 소자들에서 필요로 하는 높은 레벨의 밀폐 패키징 (Hermetic packaging)과는 달리, Mirasol® 디스플레이는 주변 환경으로부터 분리될 만큼의 밀봉

(encapsulation)만이 필요하다. 또한 Mirasol® 디스플레이는 상온 조건에서 소자에 어떠한 손상도 없이 이동이 가능하며, 산소의 노출에도 민감하게 반응하지 않는다. Mirasol® 디스플레이의 패키징은 기계적인 소자들이 움직이며 동작하기에 충분한 공간을 확보하여 공급하는 것이 중요하다. 또한 제조의 측면을 고려할 때, 패키징 공정은 디스플레이 산업 공정과 호환되어야 하며, 대량 생산에 적합하여야 한다. 하드 웨어적인 크기의 제한 (form factor)은 LCD 형태의 패키징으로 해결 방법을 찾았으며, 상대적으로 얇은 상판과 접착성의 밀봉 방법의 형태로 패키징을 실시하였다. 또한 패키징 내부의 환경 조건은 건조제를 삽입하여 조정하였고, 기계적 구동의 공간 확보를 위하여 홈 (recess)의 형태로 파여진 상판을 사용하였다. [그림 8]은 위에서 언급한 패키징의 개요를 보여준다. 패키징은 건조제를 포함한 형태의 홈 (recess)을 가지고 있는 상판과 접착제를 이용하여, IMOD 소자 array 기판과 합착되어 있는 형태이다.



[그림 8] 밀봉 공정이 완료된 Mirasol® 디스플레이의 단면 개략도 [11]

3. Mirasol® 디스플레이의 응용

앞서 언급한 바와 같이 IMOD 소자 특유의 hysteresis에 의한 메모리 효과에 의하여, Mirasol® 디스플레이의 구동에 필요한 전력은 다른 디스플레이 기술에 비하여 상대적으로 적다. [표 1]은 2.2“ QVGA의 해상도를 가진 디스플레이를 대상으로 하여, Mirasol® 디스플레이와 TFT-LCD 디스플레이의 전력 소모량을 비교하였다. 표에서 나타낸 바와 같이, 문서 중심의 이미지 또는 정지 화면의 경우, Mirasol® 디스플레이의 전력 소모량은 기존의 TFT-LCD 디스플레이에 비하여 약 95%가 감소되는 것을 알 수 있다. 또한 백라이트를 사용하는 LCD 디스플레이 기술에 비하여, 어두운 환경에서만 프론트 라이트를 사용하는 Mirasol® 디스플레이 경우, 그 전력의 소모가 약 75%가 감소하는 것을 보여준다. 하지만, IMOD 소자 특유의 passive matrix 구동 방식으로 인하여, 동영상의 재생의 경우, 그 전력의 소모량이 서로 비슷하였다.

앞서 언급한 빛의 간섭을 이용하여 색을 구현하는 IMOD 소자의 특징은, Mirasol® 디스플레이를 반사형 디스플레이로 최적화 시킨다. 일반적인 기존 LCD 디스플레이의 경우, 실내에서의 1000:1 이상의 대조비는, 태양광 하에서의 조건인 경우, 불과 2:1 또는 3:1로 현격히 감소한다. 하지만, Mirasol® 디스플레이의 경우, 태양광 아래에서도 15:1 이상의 대조비를 유지하며 뛰어난 색채를 보여준다.

이러한 기술적 특징을 볼 때, 현재의 Mirasol® 디스플레이는 E-book 또는 이동 통신 단말기를 위한 최적의 디스플레이 기술로 기대될 수 있다. 정지 화면에서의 저전력 소모와 color 화면과 동영상의 재생이 가능한 Mirasol® 디스플레이 기술은 기존의 E-Ink 기반의 E-book 디스플레이 기술에 비하여, 기업 및 개인 구매자에게 훨씬 매력적인 기술로 어필할 수 있다. 또한 태양광 아래서의 대조비 및 시인성이 뛰어난 특징은, 야외에서의 사용량이 많은 이동 통신 단말기 및 휴대용 전자 기기의 디스플레이 기술로 각광받을 것으로 예상된다.

이러한 기술을 바탕으로 Mirasol® 디스플레이는 SID 2010을 포함한 여러 디스플레이 학회 및 전시회에서 시제품을 보여 왔으며 ([그림 9]), 현재는 2011년 하반기를



[그림 9] SID 2010에 출품된 Mirasol® 디스플레이의 시제품 [3]

목표로 양산 제품을 선보일 예정이다. 또한 동영상 재생의 전력 소모량을 감소시키고, 색의 gray scale 증가, 그리고 대형 화면으로 기술을 이동시키기 위한 여러 가지 노력이 Mirasol® 디스플레이를 기반으로 지속적으로 수행되고 있다.

IV. 결 론

본 기고에서는 MEMS 기술을 기반으로한 Qualcomm의 Mirasol® 디스플레이에 대하여 살펴보았으며, 특히 IMOD 소자의 원리와 Mirasol® 디스플레이의 구동 방법 및 기술에 대하여 상세하게 소개하였다. Mirasol® 디스플레이의 기반인 IMOD 소자는 빛의 간섭을 이용하여 색을 구현하는 기술로써, hysteresis 효과를 이용한 메모리 기능을 가진 소자로써 저전력 구동이 가능하고, 간단한 구조를 특징으로 기존의 디스플레이 기술을 이용하여 대량 생산이 가능한 기술임을 알 수 있었다.

현 시대의 대체 에너지와 재생 에너지, 그리고 에너지 효율에 대한 전 세계적인 학문적, 기업적 관심을 고려할 때, 초저전력 소비의 특징을 가진 Mirasol® 디스플레이는 E-Book과 Tablet PC와 같은 휴대용 전자 기기 및 스마트폰과 같은 고성능 이동 통신용 단말기에 적합한 차세대 디스플레이 기술로 각광받을 것으로 기대된다. 하지만, 아직 표준화가 미흡한 MEMS 디스플레이 분야의 현실과 국외에 비하여 MEMS의 원초적 기술의 개발이 부족한 국내의 현실을 고려하면 원천 기술 확보를 위한 시급한 연구 개발이 절실하다고 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] http://news.cnet.com/8301-1023_3-10257163-93.html
- [2] C. Coffman et al., "Getting into Mobile TV and Video", Informa Telecoms & Media (2006).
- [3] <http://www.mirasoldisplays.com/>
- [4] D. Felhofer et al., "Device Physics of Capacitive MEMS", Microelectronic Engineering, **84**, 2158 (2007).
- [5] Peter F. Van Kessel et al., "A MEMS-based Projection Display", Proceeding of IEEE **86**, 1687 (1998).
- [6] D. M. Bloom, "The Grating Light Valve: Revolutionizing Display Technology", Proceedings of SPIE (1998).
- [7] M. Douglass, "DMD Reliability: A MEMS Success Story", Proceedings of SPIE, 4980 (2003).
- [8] Narpat S. Gehlot, "MEMS-based Technologies for Mobile Multimedia Displays and High Definition Television", <http://sbjtv.org.br/>
- [9] C. Chui et al., "The iMoD Display: Considerations and Challenges in Fabricating MOEMS on Large Area Glass Substrate," Proceeding of SPIE **6466**, 646609-1 (2007).
- [10] C. Chui et al., "System and Method for Addressing A MEMS Display", US Patent 20050206991A1 (2005).
- [11] P. D. Floyd et al., "iMoD Display Manufacturing", SID Digest **06**, 1980 (2006).

저자약력

이 호 진



- 1996년 : 한양대학교 전자공학과 학사
- 1998년 : 한양대학교 전자통신공학과 석사
- 2008년 : University of Michigan, Department of EECS, Ph.D.
- 1998년~2003년 : HYDIS (구 현대 전자) LCD 연구소 선임연구원
- 2008년~2010년 : Qualcomm MEMS Technologies, Senior Device Engineer
- 2010년~현재 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수
- 관심분야 : MEMS & AMOLED displays, thin-film devices, and display / sensor circuits