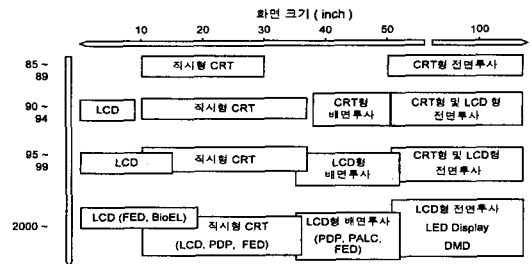


MEMS 기술을 이용한 고화질의 투사형 대형 화면표시장치

신형재, 고병천
삼성전자 기술총괄 기반기술센터

I. 서론

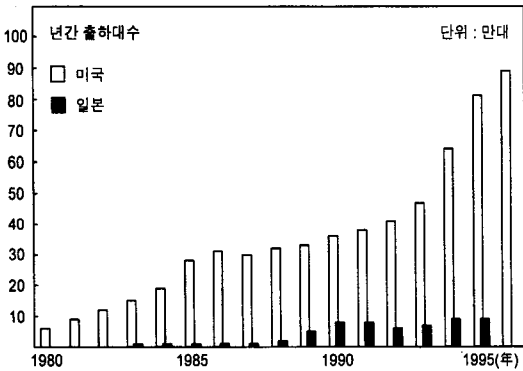
1953년 흑백 TV수상기가 처음 등장한 이래, 직시형 CRT(Cathode Ray Tube)는 꾸준한 노력으로 성능이 개선됨과 동시에, 생산대수의 증가와 제조단가의 절감으로 디스플레이 시장을 스스로 개척하여 왔다. 이에 뒤늦게 디스플레이 시장에 참여한 것이 LCD(Liquid Crystal Display)이다. LCD는 직시형 CRT와는 다른 소형의 정보표시기 분야로 시장에 참여해, 그 성능과 제조기술을 연마하며 서서히 대형화의 길을 걸어왔다. 이런 행보의 결과로 1989년경에는 역시 직시형 CRT와 경쟁하지 않는 휴대형 PC의 화상표시장치로 대형화에 성공한 후, 현재는 디스플레이 시장에서 확고한 지위를 구축하고 있다.



〈그림 1〉 화상표시장치 시장의 변천

최근 들어 이들 직시형 CRT와 LCD를 대체하고자 하는 다수의 새로운 평판형 화상표시장치가 개발되고 있다. 예를 들면 PDP(Plasma Display Panel), PALC(Plasma Addressing Liquid Crystal) display, FED(Field Emission Display), Bio-EL(ElectroLuminescence) panel 등이다. 그러나 이러한 새로운 화상표시장치들이 우선 진입할 시장은 직시형 CRT가 난공불락의 요새를 구축하고 있는 중형 화상표시장치 분야이어서 시장의 구축이 쉽지 않다. 따라서 이들 새로운 평판형 화상표시장치들은 직시형 CRT가 한계를 보이는 40" 이상의 크기를 목표로 하고 있지만, 아직 기술적인 문제를 해결하지 못하고 있는 실정이다.

현재 40" 이상의 대형 화상표시장치 시장은 크게 전면투사방식의 CRT나 LCD가 차지하고 있으나, 각각의 방식이 나름대로 성능과 가격에 문제가 있어 상대적으로 침투하기 쉬운 부분이다. 투사형의 CRT 방식은 자체의 광효율은 좋으나 전자빔의 세기와 해상도간에는 반비례 관계가 있어 실제의 밝기는 그리 좋지 않고, 이를 해결하려면 CRT 및 광학계의 크기가 증가하게되어 무게와 가격상승의 원인이 되고 무리하게 전자빔의 강도를 높이면 shadow mask가 손상되어 오히려 화질이 떨어지게 된다. 빛이 투과하며 화상을 구성하게 되는 LCD 방식은 빛이 액정을 통과하면서 상당부분 흡수되어 화면이 어둡고, 그 밝기를 높이려고 광원의 밝기를 높이면 가격상승 등의 문제가 발생하게 된다.



(그림 2) 50" 급 Projection TV 시장규모의 국가별 추이

이런 기존 기술의 취약성에도 불구하고 신 기술들의 이 시장에서의 진출이 활발하지 않은 것은 아직 그 규모가 충분히 크지 않아 큰 관심을 끌지 못하기 때문이다. 그러나, 미국이 1998년 말경에 HD(High Definition)TV의 방송을 시작할 예정이고 한국에서도 2000년대에 시작하겠다는 정부의 발표가 있는 지금, 관련 전자업계는 이에 대응할 디지털 방식의 새로운 수상기가 필요하게 되었고, 이는 점차 높아지는 문화수준에 따른 Home Theater System의 보급으로 대형 화면표시장치에 대한 요구가 높아지는 추세와 맞물려 디지털로 구동되며 대형의 화면을 표시할 수 있는 장치에의

수요로 나타나게 되었다. 이에 차세대 화상표시장치로 불리어지며 꾸준히 연구되어 오던 투사형 화상표시장치들이 주목을 받게 되었는데, 이들이 DMD™(Digital Micromirror Devices), AMA™ (Actuated Mirror Array), GLV™ (Grating Light Valve)이다. 이들은 그 방식에 있어서 나름대로의 특징이 있어 서로 구별되나 한가지 공통점은 이들 모두 MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems)기술을 사용하여 제작된다는 데 있다.

MEMS기술이란 일반적인 반도체 공정을 이용하여 전기적인 신호의 입력에 의하여 기계적인 작동을 하는 액츄에이터류와 외부의 압력이나 온도 등의 환경변화에 따라 기전력을 발생하는 센서류 등의 구조물을 제작하는 기법으로서, 1980년대 중반부터 연구가 시작되어 21세기의 핵심기술로 부각되며 여러 분야에서 새로운 개념의 제품에 적용하려는 노력이 활발히 진행중이다^{1,2,3)}. MEMS 기법으로 제작된 구조물들은 반도체 공정을 이용하여 주로 실리콘 기판 위에 제작되기 때문에 소형화와 더불어 대량생산에 따른 제조단가의 절감은 물론 필요에 따라서는 센서와 액츄에이터는 물론 그 컨트롤 회로까지 하나의 기판에 집적화할 수 있어 성능의 획기적인 개선을 기대할 수 있는 장점이 있다. 또한 국내에서는 95년도에 G7 국가선도과제로 선정되어 의료기기, 센서, 정보 통신, 멀티미디어 등의 분야에서 MEMS 기술을 이용한 제품의 연구 개발이 진행되고 있다.

이 글에서는 위에 언급된 세 가지의 MEMS기술에 의하여 제작되는 화상표시장치들에 대하여 구조와 구동원리, 기술의 난이도 등에 대해 기술하고 각각의 방식을 비교하고자 한다.

II. MEMS기술에 의한 화상표시장치의 종류와 특징

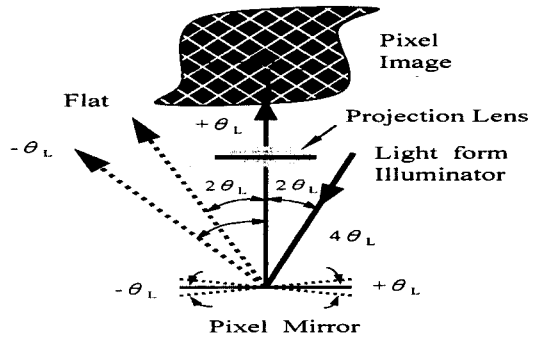
이들 화상표시장치들은 화면의 화소 하나에 해당하는 미소거울이나 이에 해당하는 구조물을 2차

원의 격자형태로 배열하여 전체 화면을 구성하고 이들을 입력되는 화상신호에 따라 개별적으로 구동함으로써 입사광을 반사나 회절하여 각각의 밝기를 표현함으로써 화상을 구현한 후, 이를 광학계를 통하여 확대하여 스크린에 투사하는 장치를 말하며, 그 핵심소자의 구조와 구동원리 등은 아래와 같다.

1. DMD(Digital Micromirror Devices or Deformable Micromirror Display)

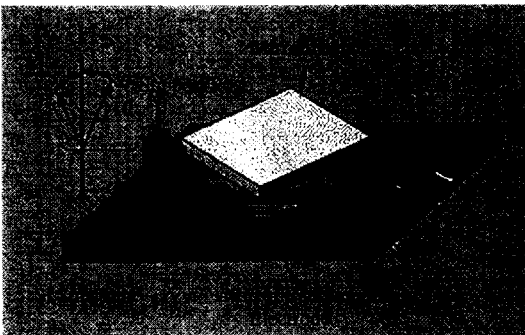
DMD는 1980년대에 미국 TI(Texas Instruments)사의 Hornbeck 박사에 의해 발명되어 꾸준한 연구 노력에 의해 화상표시장치로 구체화되어 지난 1996년에 광학계와 DSP(Digital Signal Processing)부를 포함하여 DLP™(Digital Light Processing) engine 이란 이름으로 상품화된 MEMS 기술을 이용한 최초의 투사형 TV란 점에서 전세계 사람들의 이목이 집중되어 있다. TI사가 핵심부품을 모두 포함하는 DLP™ engine의 형태로 상품화한 이래 일년여가 경과한 지금, 십여개의 업체가 이 DLP™ engine을 중심으로 projector를 구성하여 시판하고 있고, 그 수는 앞으로의 증가가 예상되는 projection TV 시장을 반영하듯 늘어가는 추세에 있다.

DMD 소자는 한 변이 $17\mu\text{m}$ 인 미소거울을 위에서 언급했듯이 640×480 (307,200 화소)나 800×600 (480,000 화소)의 형태로 배열하여 이들 미소거울의 구동여부에 따라 입사되는 빛의 경로를 바꾸어 선택적으로 화면으로 보낼 수 있도록 제조된다.

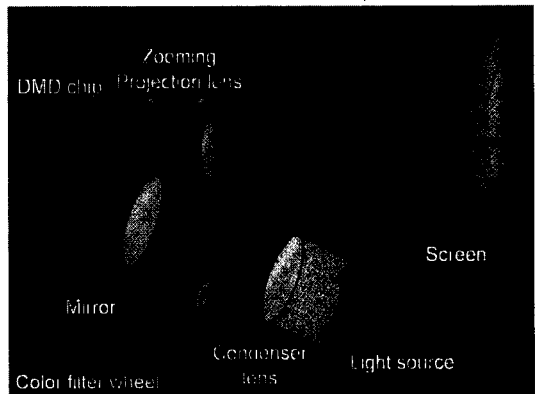


(그림 4) DMD 광학 스위치의 원리

우선 최소 한 개를 구성하는 미소거울의 구조를 보면 그림 3에서와 같이 두개의 지지대(post) 위에 알루미늄으로 만들어진 거울(mirror)이 밑의 전극(electrode)과의 전압 차에 의한 정전기력으로 전극에 붙게 되며 전압을 제거하면 Torsion Hinge의 탄성 복원력에 의해 다시 본래의 위치로 돌아온다. 따라서, 스위치가 ON이 되어 거울이 전극에 붙을 때 각도가 변해 입사하는 빛을 확대 렌즈를 통해 스크린에 반사하는 데 그 광학적 스위치 원리는 그림 4에 나타내었다. 광학계를 포함한 전체 시스템은 그림 5와 같으며 광원으로부터 나온 빛은 색을 구현하기 위해 Color Wheel을 사용한다. 이는 DMD chip을 한개 사용할 경우이며 세 개를 쓸 때에는 Color Wheel 없이 적(R), 녹(G), 청(B)을 담당하는 각각의 chip에 정렬하여 색을



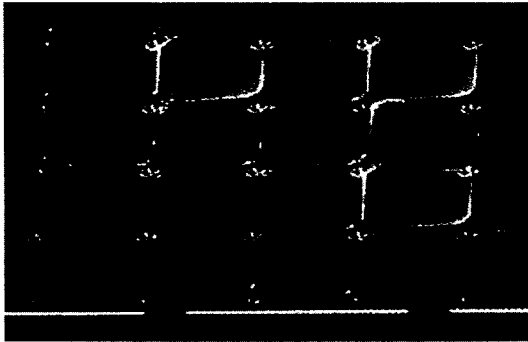
(그림 3) DMD 미소거울의 구조



(그림 5) DMD 광학계

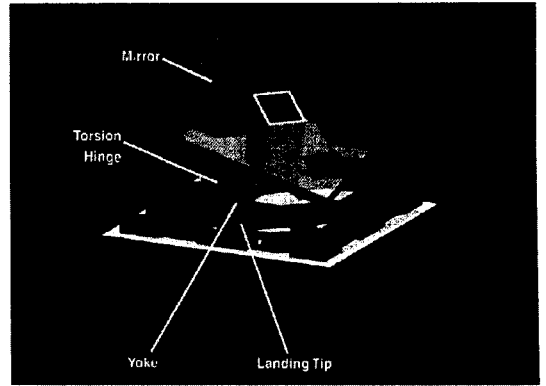
구현한다.

구동 방식은 미소거울이 전극에 붙었느냐 떨어졌느냐의 상태만을 ON, OFF로 구별하는 디지털 구동을 하며 화소의 밝기 정도를 구별하는 gray scale은 ON, OFF 되는 시간으로 조정한다(pulse width modulation). 즉, 밝은 색은 어두운 색에 비해 ON 되는 시간이 상대적으로 길게 스크린에 비춘다. 각 화소에 입력되는 정보는 짧은 시간에 많은 양을 다루어야 하기 때문에 SRAM(static random access memory)를 기판의 하부에 미리 제작하여 사용하게 된다. 그림 3 에서와 같이 지지대(post) 위에 떠있는 미소거울을 만드는 방법은 기존의 photolithography 공정을 이용하는 데 희생층을 먼저 도포하고 그 위에 금속(aluminium)을 증착한 후 먼저 입힌 희생층을 제거하는 식이다. 그런데, 그림6 에서 보는 바와 같이 post와 거울의 연결부(hinge)의 존재로 인해 화면을 채우는 정도(fill factor)가 줄어들게 된다.



(그림 6) 미소거울 Array^[4]

즉, DMD소자 면에 빛이 입사될 때 거울 면은 스크린으로 빛을 반사하나 지지대(post)나 hinge 등 그 외의 부분은 흡수하거나 산란시키기 때문에 빛의 효율을 저하시킨다. 따라서, 그림 7과 같이 fill factor를 향상시키기 위해 기존의 거울 면에 post를 세워 그 위에 밑의 hinge와 post를 커버할 수 있는 크기의 거울을 다시 제작하는데 이렇게 2층 구조가 되면 복잡해진 구조 탓에 공정은 더욱 복잡하게 된다.



(그림 7) 2층 구조의 미소거울^[4]

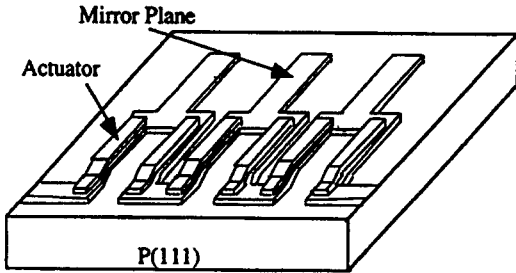
1996년의 상품화에 즈음하여 TI사가 미국의 샌디에고에서 개최된 SID 국제 전시회에 출품하였던 모델을 보면 우선 한 개의 chip을 사용한 배면투사형 TV가 270W의 metal-halide lamp를 장착하여 전시되었으며 화면의 크기는 대략 40"~50" 정도였다. 그리고, 80"의 배면투사형 TV가 3개의 chip과 500W의 Zenon lamp를 사용하여 전시되었으며 마지막으로 SVGA급 180" 대형 전면투사기를 사용하여 약 25분 정도의 영화를 감상하였는데 밝고 선명한 화상을 접할 수 있었다. 아직 prototype 이라 신호에 반응치 않는 '죽은' 화소들이 가끔 눈에 띄긴 했는데 화면 감상에는 전혀 지장이 없었다.

DMD의 가장 큰 장점은 반사형이므로 액정 방식에 비해 광효율이 높아 매우 밝고 선명하다. 소자에서의 총 광효율은 62%로 LCD 형의 12%에 비교하면 획기적으로 높은 수치라 할 수 있다. 단점으로는 이층 구조로 인한 공정의 복잡성 때문에 수율이 낮아 MEMS 제품의 장점인 제조단가의 절감을 이루지 못하고 있으며 또한 SRAM의 수율까지 고려하면 전체적인 비용은 더 상승하게 된다. 구조상으로는 hinge 부분이 가장 취약하여 피로에 의한 파괴가 문제될 듯한 데 TI사의 관계자들에 따르면, ON, OFF cycle을 2×10^{11} 번 구동하여도 문제가 없으며 결함 발생률이 22,500 시간에 하나 정도로 낮아 오년간의 수명을 보장한다고 한다. 관계자들은 실제적인 어려움이 hinge의 피로파괴보

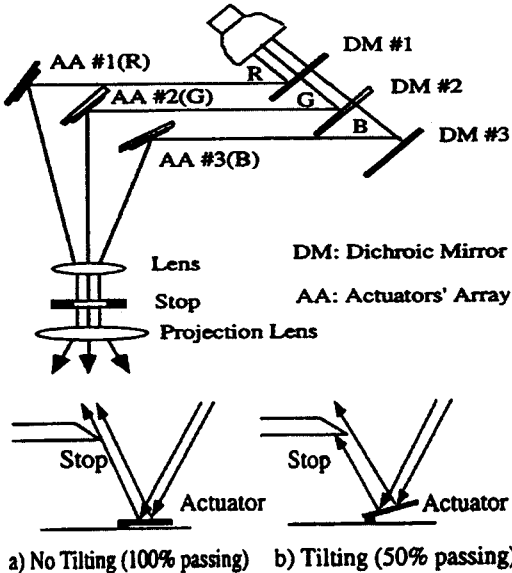
다는 반복되는 구동에 따른 거울과 전극의 접촉부 위에 전하가 축적되어 발생하는 “stiction”에 있다고 한다.

2. AMA(Actuated Mirror Array)

대우전자가 미국 국방분야 전자연구기관인 Aura 사로부터 원천기술을 도입하여 개발하고 있는 AMA 방식은 DMD 방식과 반사형이라는 점에서 유사하나 구동 방식에서 차이점을 보인다. 그림 8에서 보는 바와 같이 AMA 방식에서는 화소를 구성하는 미소거울이 압전(piezoelectric)물질로 제조되는 hinge에 의하여 지지되고, 여기에 인가



(그림 8) AMA Pixel의 구조



(그림 9) AMA 광학계와 구동의 예

되는 전압에 따라 hinge가 점차 굽어 미소거울의 각도를 조절하게 된다. 이때 gray scale은 미소거울의 기울어진 각을 아날로그 방식으로 미세하게 조절하여 표현한다. 한 화소의 크기는 한 변이 $100\mu\text{m}$ 이며 압전 소자에 전압을 걸어 최대 0.25도의 각도 변화를 일으킨다.

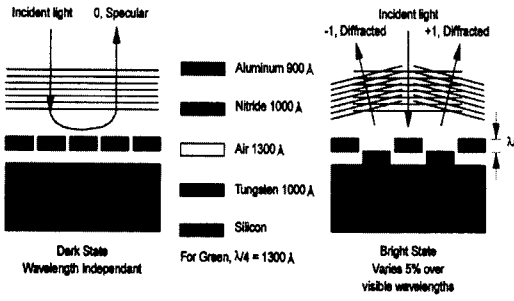
그림 9는 광학계를 포함한 전체 시스템을 도식적으로 나타낸다. 구동은 AMLCD(active matrix LCD) 방식으로 실리콘 기판에 전극을 형성한 후 그 위에 거울 구조를 제작한다. 크기가 LCD와 비슷하고 동작 속도가 DMD 보다 1000배 가량 늦어도 되므로 LCD에 사용하는 구동 회로를 그대로 사용한다. 이 방식의 장점과 단점은 모두 그 핵심인 압전물질에 있다. 우선 장점은 압전물질로 hinge를 구성함으로써 전체 구조물이 간단하고 제작이 편리하다는 점이다. 그러나, 단점은 압전물질이 현재 우리생활의 곳곳에 쓰이고는 있으나 박막으로 제조하여 반도체 공정에 의하여 형상화하는 기술은 아직 확립하여야 할 부분이라는 것이다. 특히 batch 간의 균일성이나 압전물질이 갖는 히스테리시스 현상은 반드시 해결되어야 할 과제이다.

특히 압전물질의 히스테리시스 현상이 심하게나 해결방안을 찾지 못할 경우, 화상의 밝기 등에 재현성이 보장되지 못하여 상당한 문제를 야기할 것으로 보인다. 대우전자에서 아직 공식적인 발표는 않고 있으나, 현재에 연구가 상당한 진척을 이루어 동영상의 구현이 가능한 시작품이 제작된 것으로 알려져 있다.

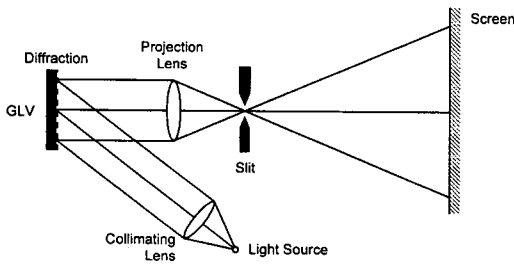
3. GLV(Grating Light Valve)

GLV 방식은 미국 스탠포드 대학의 Bloom 교수가 발명하여 지금은 그가 설립한 실리콘 Valley의 Silicon Light Machines 라는 회사에서 본격적으로 개발되고 있다. 이 방식은 DMD 나 AMA와는 달리 반사형은 아니고 빛의 회절현상을 이용하는 방식으로 그 원리는 다음과 같다.

그림 10에 나타난 바와 같이 알루미늄이 도포된 질화규소질 미소보(silicon nitride microbeam)의 구조물은 반사상 격자(reflection phase grating)이며 그 미세 구조물은 가해진 전압이 없을 경우



(그림 10) GLV 구동 원리^[5]



(그림 11) GLV 광학계^[5]

에는 미소보와 기판에서 반사되는 빛 사이의 전체 경로의 차가 입사되는 빛의 파장과 같은 데 이때는 편평한 거울처럼 빛을 반사한다. 그러나, 미소보와 기판 사이에 전압을 가할 경우, 정전력이 발생하여 미소보가 하나씩 건너 기판에 붙게 되는데, 이 경우에는 위쪽의 미소보와 아래쪽의 미소보 간의 높이 차이가 빛 파장의 1/4이 되고, 따라서 빛의 경로 차는 절반이 되어 회절이 일어나는데 일차 회절광들은 $\pm 14^\circ$ 로 출력되고 이를 이용하여 광학계를 거쳐 화상을 구성한다. 현재 개발되고 있는 화소의 크기는 한 변이 $25 \mu\text{m}$ 이고 digital 구동이며 응답속도는 20ns 으로 매우 빠르기 때문에 PWM(pulse width modulation)으로 grayscale을 조정한다.

그림 10에 광학계를 포함한 전체 시스템을 도식적으로 나타내었다. 이 방식의 장점은 미소보의 제작시 장력(tension)을 주어 제작하기 때문에 작동 중에 stiction 문제가 적고 일단 전압이 가해져 미

소보가 기판에 붙은 후에 전압을 없애도 일정 시간동안 붙은 상태가 유지되어 화면을 구성하게 된다. 따라서 DMD와 같이 SRAM의 도움 없이도 passive matrix 구동도 가능하다. 그러나 회절형이기 때문에 반사형보다 빛의 효율이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 즉 알루미늄 박막의 이론적 반사효율은 90%인데 비해, 회절의 효율은 82%로 어느 정도 떨어지나 LCD에 비하면 상당히 좋은 편이고, 구조물이 간단해 제작 공정상의 수율이 상대적으로 높으므로 제작비가 저렴할 것이라는 기대로 계속 개발 중이다.

4. 각 방식간의 비교

지금까지 기술한 DMD와 AMA, GLV들을 이용하여 Projection TV를 구성할 때 검토되어야 할 몇 가지 주요 성능을 들자면, 화면의 밝기를 결정할 광효율을 들 수 있다. 소자에서의 광효율은 반사형인 DMD와 AMA에 비해 회절형인 GLV가 불리하며 또한 한 화소 내에서의 유효면적에서도 다른 방식에 비해 손해를 본다. 공정에 있어서는 2층 구조를 갖는 DMD는 공정의 복잡성으로 인하여 제조단가의 상승과 수율의 저하에 따른 경제성 측면에서 문제가 있으며, AMA는 구조는 단순하나 압전물질의 제조 공정이 아직 안정화되지 않은 상태여서 해결되어야 할 과제이다. GLV는 세 방식중 공정 상으로 가장 유리한 고지를 차지하고 있다. 다만 질화규소막의 응력조절을 적절히 하여 stiction 문제를 해결하여야 할 것이다. 구동 방식에서는 DMD가 디지털 구동을 하며 spring hinge에 걸리는 피로가 걱정스럽고, AMA는 아날로그 구동에 따른 압전체 hinge의 히스테리시스 현상이 난제로 남아있다. 광학계 구성에 있어서는 대체적으로 세 가지 방식 모두 비슷할 것으로 보인다.

이상과 같이 여러 가지 문제점들을 고려해 볼 때, 각 방식은 서로 장단점이 있으나 TI사가 이미 DLP™ engine의 형태로 시장을 시험하고 있고, 대우전자의 AMA 역시 개발에 큰 진척을 보이고 있는 반면, Silicon Light Machines의 GLV는 아직 이렇다할 진척을 보이지 않고 있어 심각한 문제가 발생한 것이 아닌가 하는 의구심을 자아낸다.

III. 결 론

참 고 문 헌

지금까지 MEMS 분야의 부단한 연구 노력에도 불구하고 아직 상업화에 성공한 예는 inkjet printer head외에는 그리 눈에 띄는 것이 없는 바, MEMS 기술로 제작된 DMD나 AMA, GLV등의 소자를 중심으로 고화질의 대형화면을 구성하는 projection TV가 상업적으로 성공한다면 이 분야 연구 개발의 활성화에 지대한 영향을 끼치리라는 것은 본 필자들만의 사견은 아닐 것이다. 다행히 TI사의 기술을 채용한 projector들이 좋은 반응을 얻어 그 시장을 넓혀 가는 추세에 있고 대우전자의 AMA외에 삼성전자에서도 G7 국가선도과제의 하나로 비슷한 방식의 화상표시소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 것이 미래의 화상표시장치 시장에 기대를 갖게 한다.

- (1) 최범규, "LIGA 공정과 응용," 물리학과 첨단 기술, pp.35-38, Sept., 1994
- (2) 김용권 역, "마이크로 머신의 세계," 대영사
- (3) 조영호, "자동차용 반도체 집적센서 및 마이크로 액추에이터," 자동차공학회지, Vol. 14, No. 3, 1992
- (4) Larry J. Hornbeck, "Digital Light Processing and MEMS: Timely Convergence for a Bright Future," Micromachining and Microfabrication '95, Austin, TX (October, 1995).
- (5) R. B. Apte, F. S. A. Sandejas, W. C. Banyai, and D. M. Bloom, "Grating Light Valves for High Resolution Displays," Solid State Sensors and Actuators Workshop, Hilton Head Island, SC (June, 1994).

저 자 소 개



愼 炯 宰

1961年 9月 17日生

1984年 2月 한양대학교 무기재료공학과 학사

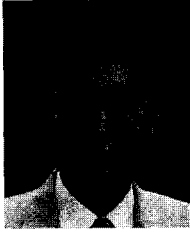
1992年 12月 Univ. of Maryland, College Park 재료공학 박사

1991年 10月~1994年 8月 미국 NIST Ceramics Division 객원 연구원

1994年 12月~현재 삼성전자 기술총괄 기반기술센터 선임연구원

주관심 분야: 박막재료 및 재료표면의 물리, 기계적 특성 분석

MEMS기술에 의한 Actuator의 설계와 제작



高 秉 天

1953年 5月 10日生

1975年 2月 서울대학교 기계공학과 학사

1981年 2月 서울대학교 기계설계공학과 석사

1988年 6月 Univ. of Michigan, Ann Arbor 기계공학과 박사

1988年 11月~1992年 2月 한국기계연구원 시스템연구실

1992年 3月~1995年 11月 자동차부품연구원 전장개발부

1995年 11月~현재 삼성전자 기술총괄 연구위원

주관심 분야 : MEMS, Micro Packaging, Storage용 광 Pick-up