

# MEMS 기술을 이용한 프로젝션 TV의 개발동향과 전망

최 범 규

(삼성전자 기술총괄 기반기술센터 수석연구원 · 공박)

## 1. 서 론

1980년대 중반부터 연구가 시작되고 21세기의 핵심기술로 부각되어 국가적 차원에서 지원을 받고 있는 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기술은 여러 분야에서 새로운 개념의 제품들을 만드는 중요한 역할을 하고 있다[1,2,3]. MEMS 기술은 IC Chip을 제작하는 반도체 공정을 이용하여 주로 실리콘 기판 위에 기계 부품과 전자 부품을 동시에 전선으로 연결된 상태로 제작할 수 있는 기술이기 때문에 대량 생산이 가능하여 제작비를 줄일 수 있으며 초소형으로 제작하기 때문에 과거 상상으로 그쳤던 일, 예를 들면 컴퓨터로 제어되는 초소형 로봇을 인체 내에 직접 투입하여 수술을 하지 않고 병든 부분을 치료하는 일 등을 가능하게 하여 전세계적으로 활발하게 연구되고 있다. 또한 국내에서는 95년도에 G7 국가선도과제로 선정되어 의료기기, 센서, 정보 통신, 멀티미디어 등의 분야에서 MEMS 기술을 이용한 제품의 연구 개발이 진행되고 있다. 현재 가장 상품화에 근접해 있으면서 잠재적인 시장을 갖고 있는 품목이 대형 프로젝션 TV라 할 수 있는데 지금까지 디스플레이의 주류를 이루고 있던 CRT(Cathod Ray Tube)가 40" 크기 이상의 대형에는 부피와 중량의 한계로 인해 거의 불가능하기 때문에 다른 개념의 디스플레이 방식이 요구되고 있다. 이를 위해 PDP(Plasma Display Panel), TFT LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display), FED(Field Emission Display) 등의 평판 디스플레이가 한창 개발중이나 역시 40" 이상의 대형에는 기술상 여러가지 문제점이 많아 적합하지 못하다.

과학, 문화 수준의 발달과 더불어 HDTV(High Definition TV)의 개발은 필연적인데 HDTV의 상용화를 위해 가장 중요한 기술은 높은 해상도를 수용할 수 있는 대형 디스플레이 장치의 개발이다. 21세기에는 극장이 따로 필요없이 각 가정에서 대형화면의 높은 해상도를 갖는 HDTV를 즐길 수 있리라 여겨지며 그 유일한 방법은 저렴한 Projection TV의 개발이다. 현재 시판되고 있는 Projection TV 장치의 가격은 20,000 USD 이상의 고가이며 성능도 썩 좋지 못한 것으로 알려져 있다. CRT Projection 방식은 소형 CRT 상에 맺힌

밝은 영상을 렌즈에 의해 스크린에 확대하여 비추는 방식으로 칼라를 구현하기 위해서 3가지 색상의 CRT를 결합하여 사용한다. LCD(액정) 방식의 Projection TV는 투명한 LCD 패널에 강한 광원으로 부터의 빛을 통과시킨 후 렌즈를 통하여 스크린에 확대시키는 방식인데 rear projection 형과 front projection 형이 있다. CRT 방식과 LCD 방식 모두 높은 가격 외에도 성능에 한계가 있는 데, CRT 방식의 경우 광효율은 좋으나 실제의 밝기는 그리 좋지 않다. 그 이유는 밝기를 증가시키기 위해 전자빔의 강도를 올리면 빔의 크기가 증가하여 해상도가 나빠지게 되므로 어느 정도의 해상도를 얻으려면 빔의 강도를 낮게 유지하여야 하기 때문이다. 또한 빔의 크기가 증가할 경우 해상도를 유지하려면 CRT의 크기가 증가하여야 하는 데 이는 광학계의 크기를 증가시키며 가격상승의 원인이 된다. 그리고 전자빔의 세기가 커지면 shadow mask가 열변형을 일으켜 전자의 경로를 흐트러 화질의 저하를 초래한다. LCD 방식은 가장 큰 단점이 빛의 효율인데 빛이 액정을 통과하면서 대부분이 흡수되어 대체적으로 화면이 어두워 밝은 환경에서는 시청이 어렵다. 이런 상황에서도 전세계 Projection TV 시장은 94년도에 28억 USD 이었고 2000년에는 52억 USD 이상이 기대되며 새로운 방식의 저렴한 제품이 나올 경우 그 시장은 엄청나리라는 것을 쉽게 짐작할 수 있다.

따라서, 이러한 단점들을 극복하면서 저렴한 Projection TV의 개발이 진행 중인 데 그것들은 DMD™ (Digital Micromirror Devices)<sup>1)</sup>, AMA™ (Actuated Mirror Array)<sup>1)</sup>, GLV™ (Grating Light Valve)<sup>1)</sup> 등이며 다음 절에 각 방식의 구동 원리와 기술의 난이도, 전망 등에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 새로운 Projection TV의 종류와 특징

### 2.1 DMD(Digital Micromirror Devices or Deformable Micromirror Display)

DMD는 넓은 의미의 SLM(Spatial Light Modulator)에

1) DMD, AMA, GLV 는 각각 TI, Aura, Echelle사의 등록상표임

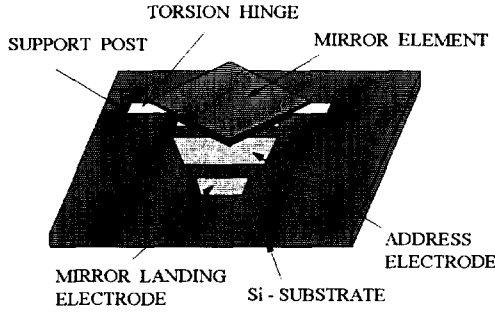


그림 1. 미소 거울의 구조

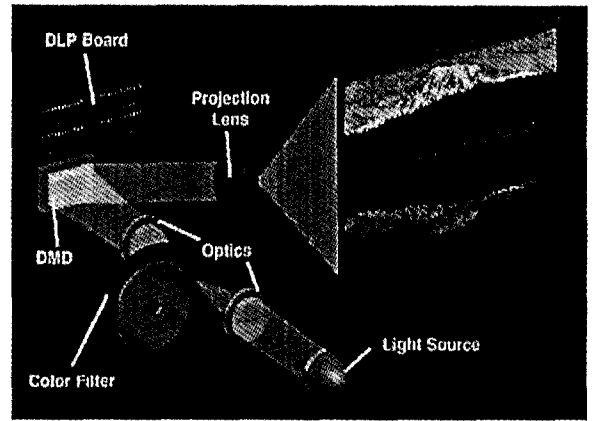


그림 3. DMD 광학계 (ref. [4])

속하며 빛의 위치나 세기를 조절할 수 있는 장치를 뜻한다. SLM은 입력된 영상 정보를 광센서로 보내거나 사람이 볼 수 있는 실제의 영상으로 바꾸어 주는 장치이다. SLM의 종류로는 LCD, LED 등을 사용한 것이 있는데 DMD는 최근 TI(Texas Instruments)사의 Dr. Hornbeck에 의해 발명되고 디스플레이 장치로서 구체화되어 가장 상품화에 근접해 있는 품목이며 MEMS 기술을 이용한 최초의 투사형 TV란 점에서 전세계 사람들의 이목이 집중되어 있다.

MEMS 기술을 이용한 상품 중에서 센서 같은 부품이 아닌 세트 개념의 품목이며 잠재적으로 거대한 시장을 갖고 있기 때문에 꼭 성공해야 하며 실제로 산업용으로는 시판되고 있다. 남아있는 문제는 이만불 이상이 되는 시판가를 어떻게 낮추어 가정용으로 하느냐가 관건이다. 전체적인 원리는 화소(pixel) 하나하나를 한변이 16 $\mu$ m 크기인 미세거울로 만들어 미리 들어가 있는 정보에 따라 입사하는 빛을 스크린에 반사하여 화면을 구성하는 방식이다. 따라서, 40만 화소의 화면은 40만개의 미세거울로 이루어져 있는 chip에 광원을 입사시켜 스크린에 반사하여 화면을 구성한다. 우리가 스타디움에서 응원할 때 각 사람이 조정하는 카드에 의해 화면이 형성되는 카드 섹션과 같은 원리이다.

우선 화소 한개를 구성하는 미세거울의 구조를 보면 그림 1에서와 같이 두개의 지지대(post) 위에 알루미늄으로 만들어진 거울(mirror)이 밑의 전극(electrode)과의 전압차에 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 반사하는데 그 광학적 스위치 원리는 그림 2에 나타내었다. 광학계를 포함한 전체 시스템은 그림 3과 같으며 광원으로부터 나온 빛은 색을 구현하기 위해 Color Wheel을 사용한다. 이는 DMD chip을 한개 사용할 경우이며 세개를 쓸 때에는 Color Wheel 없이 적(R), 녹(G), 청(B)을 담당하는 각 chip을 정렬하여 색을 구현한다.

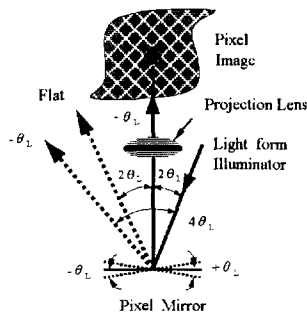


그림 2. DMD 광학 스위치 원리 (ref. [4])

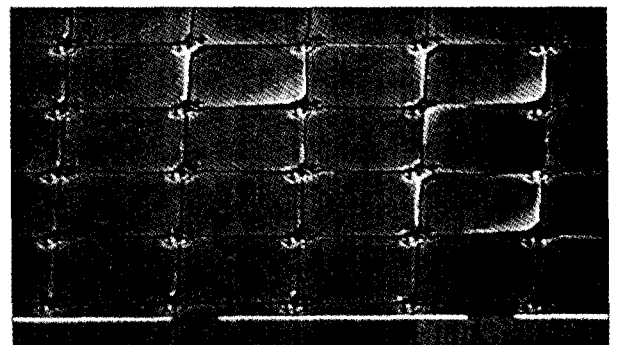


그림 4. 미소거울 Array (ref. [4])

구동 방식은 미세거울이 전극에 붙었느냐 떨어졌느냐의 상태만을 ON, OFF로 구별하는 디지털 구동을 하며 색의 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)을 사용하여야 한다. 그림 1

에서와 같이 지지대(post) 위에 떠있는 미세거울을 만드는 방법은 기존의 photolithography 공정을 이용하는 데 희생층을 먼저 도포하고 그 위에 금속(aluminium)을 증착한 후 먼저 입힌 희생층을 제거하는 식이다. 그런데, 그림 4에서 보는 바와 같이 post와 거울의 연결부(hinge)의 존재로 인해 화면을 채우는 정도(fill factor)가 줄어 들게 된다.

즉, chip 면에 빛이 입사될 때 거울면은 스크린으로 빛을 반사하나 지지대(post)나 hinge 등 그 외의 부분은 흡수하거나 산란시키기 때문에 빛의 효율을 저하시킨다. 따라서, 그림 5와 같이 fill factor를 향상시키기 위해 기존의 거울면에 post를 세워 그 위에 밑의 hinge와 post를 커버할 수 있는 크기의 거울을 다시 제작하는 데 결국 2층 구조가 되어

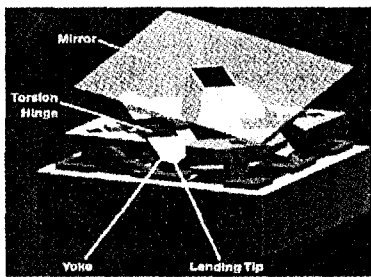


그림 5. 2층 구조 미소거울 (ref. [4])

공정은 더욱 복잡하게 된다. 개발 방식은 TEXAS INSTRUMENTS 사가 DMD chip을 포함한 핵심 부분(Digital Light Processing Engine)을 nVIEW, ASK, DAVIS, NOKIA, Infocus, VIDIKRON, Rank Brimar, RUNCO, SONY, Liesegang, Projectavision, Proxima 등의 광학계와 시스템 전문 회사들이 제공하여 합작한다.

96년도 미국의 샌디에고에서 개최된 SID 국제 전시회에 출시되었던 모델을 보면 우선 한개의 chip을 사용한 Rear Projection TV가 270W의 metal-halide lamp를 장착하여 전시되었으며 크기는 대략 40"-50" 정도였다. 그리고, 80" Rear Type Projection TV가 3개의 chip과 500W의 Zenon lamp를 사용하여 전시되었으며 마지막으로 SVGA급 180" 대형 Front Type Projector로 약 25분정도의 영화를 감상하였는데 밝고 선명한 화상을 접할 수 있었다. 아직 Prototype 이라 죽은 화소들이 가끔 눈에 띄긴 했는데 화면 감상에는 전혀 지장이 없었다.

DMD의 가장 큰 장점은 반사형이므로 액정 방식에 비해 광효율이 높아 매우 밝고 선명하다. 단점으로는 이층 구조로 인한 공정의 복잡성 때문에 수율이 낮아 MEMS 제품의 장점인 저가격을 이루지 못하고 있으며 또한 SRAM의 수율까지 고려하면 전체적인 비용은 더 상승하게 된다. 구조를 자세히 살펴보면 hinge 부분의 피로 파괴가 문제될 듯한 데 TI 사의 관계자들의 말에 따르면, 실험을 통해 기계적인 피로 파괴에 강함을 입증하였으나 실제적인 어려움은 점착(stiction) 현상에 의한 화소의 결함이라고 한다. 이는 거울과 전극의 반복적인 접촉으로 인해

전하가 미세거울의 끝단에 축적됨과 동시에 반데르 바알스 힘이 증가되어 점착되기 때문이다.

## 2.2 AMA(Actuated Mirror Array)

대우 전자가 미국 국방분야 전자연구기관인 AURA 사로부터 원천기술을 도입하여 제품개발을 추진해 오고 있는 AMA 방식은 DMD 방식과 반사형이라는 점에서 유사하나 구동 방식에서 다르다. 화소를 구성하는 미세구조의 재료로 압전(piezoelectric)물질을 사용하고 색의 정도를 나타내는 gray scale은 미세거울의 기울어진 각으로 조절하는 아날로그 방식이다. 한 화소의 크기는 한변이 100  $\mu\text{m}$ 이며 압전 소자에 전압을 걸어 최대 0.25도의 각도 변화를 일으킨다.

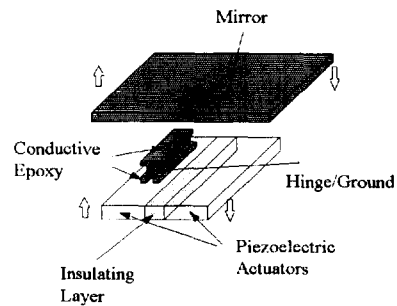


그림 6. AMA Pixel의 구조

한개의 화소 구조를 그림 6에 보였다. 미세 구조물에 전압을 가하면 전압차에 의해 압전 물질이 한쪽은 수축하고 다른 쪽은 팽창하여 결국 위에 얹혀 있는 거울이 기울어지게 되어 입사된 빛이 스크린에 반사되는 방식이다. 또한 그림 7에서와 같이 거울이 기울어지며 슬릿을 통해 빛의 양이 증감됨으로 gray scale이 조절되어 화면을 형성한다.

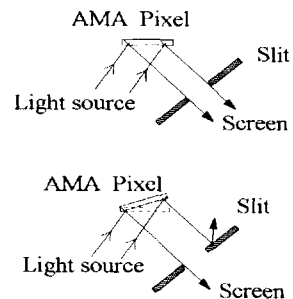


그림 7. Analog intensity modulation

그림 8은 광학계를 포함한 전체 시스템을 도식적으로 나

타낸다. 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 IC를 그대로 사용한다. 이 방식의 근본 아이디어는 매우 흥미로우나 몇가지 어려운 문제를 해결하여야 제품으로 생산될 수 있다. 가장 큰 문제는 압전 물질을 얇은 막으로 입히는 일이다. 수십만 개의 미세 거울을 균일하게 만들어야 하고 대량 생산을 위해서는 압전 물질을 얇은 막으로 입히는 기술이 확립되어야 한다.

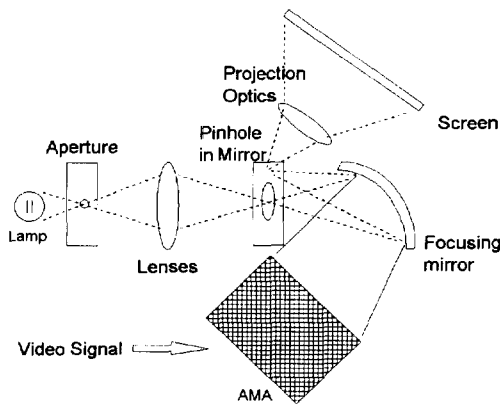


그림 8. AMA 광학계

압전 재료는 두세 가지의 금속이 일정 한 비율로 되어 있는 물질로 한가지의 금속만을 얇은 막으로 입히는 것도 쉬운 일이 아닌 데 여러 물질을 정확하게 원하는 비율로 끌고루 섞인 얇은 막은 거의 얻기 어렵다. 또 한가지 어려운 점은 압전 물질의 히스테리시스 때문에 생기는 현상이다. 즉, 거울의 기울어진 각도가 똑같은 전압에 대해서 항상 일정하지 않기 때문에 어제 본 TV의 색상이 오늘 보고 있는 TV와 다르며 내일은 어떻게 변할 지 모른다는 것이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 궁극적으로 closed loop control을 해야 하는 데 수십만 개의 화소에 이 제어를 다 설치하기가 쉽지도 않을 뿐더러 가능하더라도 제작비가 엄청나 경쟁력이 떨어진다.

### 2.3 GLV(Grating Light Valve)

GLV 방식은 미국의 스탠포드 대학의 Dr. Bloom이 발명하였고 지금은 그가 설립한 실리콘 Valley의 Echelle 이라는 회사에서 본격적으로 개발되고 있다. 이 방식은 DMD 나 AMA 와는 달리 반사형이 아니고 회절형이며 그 원리는 다음과 같다.

그림 9에 나타낸 바와 같이 알루미늄이 도포된 실리콘 nitride 미세보(microbeam)의 구조물은 반사상 격자(reflection phase grating)이며 그 미세 구조물은 가해진 전압이 없을 경우에는 미세보와 기판에서 반사되는 빛 사이의 전체 경로의 차가 입사되는 빛의 파장과 같은 데 이때는 편평한 거울처럼 빛을 반사한다. 그러나, 미세보와 기판 사이에 전압을 가할 경우, 정전력이 발생하여 미세보가 하나씩 건너 기판에 붙게

되는 데, 이 경우에는 전체의 빛 경로 차가 빛의 파장의 반이 되어 빛이 회절한다. 따라서, 이러한 미세 구조물이 빛의 경로를 조절하는 light valve의 역할을 하며 각 화소에 대하여 전체 화소 수 만큼 제작한다. 현재 개발되고 있는 화소의 크기는 한번이 25  $\mu\text{m}$  이고 digital 구동이며 응답속도는 20ns 으로 매우 빠르기 때문에 PWM(pulse width modulation)으로 grayscale을 조정한다.

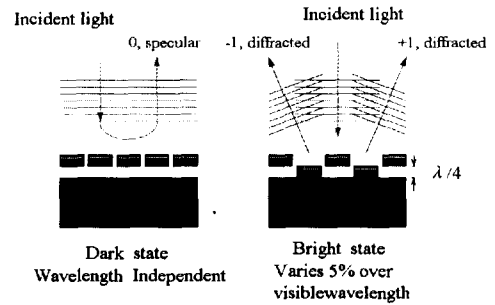


그림 9. GLV 구동 원리 (ref. [5])

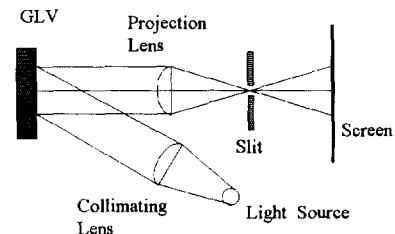


그림 10. GLV 광학계 (ref. [5])

그림 10에 광학계를 포함한 전체 시스템을 도식적으로 나타내었다. DMD와 같이 SRAM을 깔지 않고 passive matrix 구동도 가능하며 회절형이기 때문에 반사형보다 빛의 효율이 떨어져 미세 구조만의 효율을 보면 반사형은 알루미늄 자체의 반사율(90% 이상)과 같지만 이 GLV 방식의 경우 이론적인 효율이 82%이다. 82% 정도의 효율도 액정에 비교하면 상당히 좋은 편이고 구조물이 간단해 제작 공정상의 수율이 상대적으로 높으므로 제작비가 저렴할 것이라는 기대로 계속 개발 중이다. 한가지 특징은 미세초기 장력(tension)을 주어 미세보를 제작하기 때문에 작동 중에 stiction 문제가 적고 일단 전압이 가해져 미세보가 기판에 붙은 후에 전압을 없애도 일정 시간동안 붙은 상태가 유지되어 화면을 구성하게 된다.

## 2.4 각 방식의 비교

지금까지 기술한 새로운 디스플레이 방식인 DMD, AMA, GLV 에 의한 Projection TV에 대하여 특징 및 장단점을 표 1에 비교하였다.

표 1. GLV, DMD, AMA 비교

	GLV	DMD	AMA
방식	회절	반사	반사
형상	Bending type	Torsion Hinge type	Aperture type
제작 방법	Al pixel:25x25 $\mu\text{m}^2$ 칩크기:3x3cm <sup>2</sup>	Al pixel:16x16 $\mu\text{m}^2$ 칩크기:1.5x1.5cm <sup>2</sup>	PZT pixel:100x100 $\mu\text{m}^2$ 칩:10x10cm <sup>2</sup>
구동 방법	정전기력 Digital 반응속도:20ns Matrix 방식가능	정전기력 Digital 반응속도:10 $\mu\text{s}$ SRAM 사용	압전특성 Analog 반응속도:100 $\mu\text{s}$ Matrix 방식
광효율	84%	90%	90%
Gray Scale	ON-OFF 시간 (PWM)	ON-OFF 시간 (PWM)	기울어진 각과 Grating

우선 광효율 면에서 GLV는 회절형이기 때문에 반사형인 DMD와 AMA에 비해 불리하며 가장 최근에 발표되어 현재까지 동화상을 구현해 보지 못한 상황이기 때문에 성공 가능성은 불투명하다. chip 제작상의 난이도를 보면, AMA의 경우 압전 물질을 박막으로 입히는 공정이 아직 확립되지 못한 상황이고 DMD는 fill factor를 증가시키기 위해 2층 구조로 제작해야 하므로 공정의 복잡성으로 인한 저수율이 문제이며 GLV는 제작이 용이하나 구조상 보(beam)의 상당 부분이 밑의 전극에 붙지 않아 광효율이 저하되는 단점이 있다. 구동 방식의 차이를 보면 DMD가 디지털 구동이기 때문에 DSP(Digital Signal Processing) 회로가 복잡하며 AMA는 아날로그 구동에 따른 회로의 어려움은 없어 보이나 전술한 것처럼 압전 물질의 박막 공정과 물질의 히스테리시스 문제가 가장 어렵다. 광학계 구성의 난이도는 대체적으로 세가지 방식 모두 비슷할 것으로 보인다. 따라서, 위에 열거한 여러 가지 문제점 들을 고려해 볼때 각 방식에 모두 장단점이 있으나 현재까지는 TI 사가 개발중인 DMD를 이용한 Projection TV 방식이 가장 먼저 시작하여 20여년 동안 개발되고 있으며 어느 정도 제작 공정을 확립하여 산업용으로 시판중에 있다.

## 3. 결 론

MEMS 기술에 의해 개발되고 있는 많은 제품들 가운데 가장 잠재력있고 큰 시장을 가진 대형 projector의 개발은 핵심 chip이 현재 DMD(Digital Micromirror Device), AMA(Actuated Mirror Array), 그리고 GLV(Grating Light Valve) 방식으로 진행되고 있으며 TI 사가 개발 중인 DMD projector가 상품화에

근접해 있으며 고화질의 시제품을 SID(Society for Information Display) 국제 전시회에 출품하여 전세계 연구원들의 이목을 끌었으며 앞으로 어떻게 수율을 높이고 광학계의 단순화를 이루어 제작비를 낮추는 가가 관심의 초점이다. MEMS 연구를 하는 한 사람으로서의 사견으로도 이 제품이 성공하여야 범세계적으로 일어나고 있는 MEMS 기술이 더욱 확실한 신기술로서의 지위를 갖고 연구되리라 믿는다.

## 참 고 문 헌

- [1] 최범규, "LIGA 공정과 응용," 물리학과 첨단기술, pp.35-38, Sept., 1994
- [2] 김용권 역, "마이크로 머신의 세계," 대영사
- [3] 조영호, "자동차용 반도체 집적센서 및 마이크로 액츄에이터," 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



### 최범규(崔範圭)

1957년 7월 17일생. 1981년 서울대 공대 기계공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 기계설계학과 졸업(석사). 1992년 Univ. of Wisconsin 기계공학과 졸업(공학). 1983년 3월-86년 8월 KAIST CAD/CAM실 연구원. 1986년 8월-88년 8월 Penn State Univ. 연구조교. 1992년 5월-94년 4월 CXrL(Center for X-ray Lithography at Univ of Wisconsin Postdoc. 1994년 6월-현재 삼성전자 수석연구원