



MEMS 기술을 이용한 디스플레이

□ 전진완 / 한국과학기술원 전자전산학과 박사 후 연구원

□ 윤준보 / 한국과학기술원 전자전산학과 부교수

레이저를 이용해 허공에 영상을 표시하는 3차원 디스플레이, 실시간으로 정보가 제공되며 종이처럼 접을 수 있는 디스플레이, 안경의 안쪽 면에 원하는 영상이 보여지는 디스플레이, 헬멧을 쓰면 망막에 영상이 뿌려지는 가상 현실 디스플레이, 너무나 작은 펜에서 엄청난 크기의 영상을 보여주는 디스플레이.

미래의 모습을 그린 공상과학 영화를 보면 이와 같은 첨단 디스플레이 기술들이 자주 등장하여 우리들의 호기심을 불러일으킨다. 과연 이런 디스플레이는 실현 가능한 것일까?

실제로 너무 앞서나갔을 지는 모르지만 이러한 기술들이 터무니 없는 것만은 아니다. 이미 많은 과학기술자들과 첨단 기업들에서는 이러한 기술들을 실현하기 위해 연구개발하고 있으며, 아직 상용화되지는 않았지만 시제품이 나오고 있는 것들도 있다. 이런 디스플레이를 실현 가능하게 하는 데 바로 Microelectromechanical system(MEMS) 기술이 뒷받침하고 있다.

이제 우리가 흔히 알고 있는 디스플레이인 CRT, 요즘 가격 및 대형화 경쟁 중인 LCD와 PDP, 새롭게 개발되고 있는 OLED 외에 과연 MEMS 기술이 기존의 디스플레이 기술과 접목되어 "어떤 새로운 디스플레이가 만들어졌는가"에 대해 살펴보고, "앞으로 통신 및 컴퓨터 기술과 결합하여 어떤 형태의 새로운 디스플레이가 MEMS 기술을 통해 만들어질 것인가"에 대해 살펴보도록 하자.

MEMS 기술을 이용한 디스플레이란?

디스플레이란 간략히 말하면 "빛을 조절(modulation)하여 영상을 표시하는 것"이라 할 수 있을 것이다. 디스플레이가 빛을 조절하여 영상을 표시하는 것은 결국 화면의 어떤 부분은 밝게, 다른 부분은 어둡게 나타내는 것이다. 즉, 어떤 디스플레이든지 "한 픽셀(pixel)을 다른 픽셀과 빛의 밝기를 다르게 조절하는 것"이 바로 디스플레이의 핵심이 되는 기본 원리이다. 이렇게 빛을 이용하여 "빛의 밝기를 픽셀 별로 어떻게 조절할 것인가?"에 따라 CRT, LCD, PDP, Projection, OLED 등으로 나눌 수 있게 된다.

MEMS 기술을 이용한 디스플레이는 바로 영상을 표시하는 부분, 즉 빛의 밝기를 픽셀 별로 조절하는 부분이 마이크로미터 크기의 전기기계시스템으로 이루어진 디스플레이를 말한다. 마이크로미터 크기의 기계시스템을 전기적인 신호를 이용하여 동작시켜 빛을 조절하여 영상을 표시하는 것이라 간단히 정의할 수 있다. 이러한 시스템을, 일반적으로 MEMS 중에서도 빛을 이용하기 때문에 MOEMS (Micro-Optical-Electro-Mechanical-Systems)라고도 한다. MEMS 기술을 이용한 디스플레이의 가장 큰 특징은 바로 MEMS 소자를 움직여서 빛의 밝기를 원하는 부분 별로 조절하여 영상을 표시하는 것이다. 이런 디스플레이에 사용되는

MEMS 소자들은 대부분 매우 얇은 반사막을 사용하여 빛의 밝기를 원하는 부분 별로 조절하게 된다.

MEMS 소자들은 대개 마이크로미터 크기 정도로 매우 작으므로, 동작 변위 역시 마이크로미터 크기 정도로 매우 작게 되고, 동작 속도 역시 수 나노에서 마이크로 초 정도 밖에는 되지 않는다. 이러한 MEMS 소자들의 작은 변위와 빠른 동작 속도의 특징으로 인해 실제로 MEMS 소자를 응용하는 데 큰 제약이 되지만, 오히려 이러한 특징들로 인해 질량이 없는 빛을 다루고 이용하여 디스플레이에 사용하는 데는 더할 나위 없이 좋은 상황이 된다. 결국 MEMS 소자의 이러한 특징들 때문에, 이를 디스플레이에 응용하기 위해 1970년대부터 연구되어 왔으며, 실제로 개발에 성공하여 많은 MEMS 기술을 이용한 디스플레이들이 등장하게 된다.

Texas Instruments사의 Digital Micromirror Device(DMD) 및 Digital Light Processing (DLP) 기술

MEMS 기술을 이용한 디스플레이의 시작은 1987년 Texas Instruments사에서 개발한 디지털마이크로미러 소자(Digital Micromirror Device-DMD)이다. DMD는 MEMS 기술 중 가장 성공한 대표적인 것으로, 1970년대부터 연구가 시작되어 1996년 첫 제품 출시 이후 2004년까지 500만개 이상의 칩을 생산하였다. 이와 같

이 DMD는 MEMS 디스플레이의 기술적 성능 및 상업적인 가능성을 증명한 최초의 기술 및 제품이라 할 수 있다.

그림 1과 같이, DMD는 전기적인 신호를 주기 위해 반도체 회로가 형성된 기판 위에, 맨위 거울 층과 움직일 때 휘어지는 구동층, 전압 인가를 위한 전극 층 등의 3차원 구조의 다층 금속으로 형성된다. 그림 2의 전자현미경 사진에서 보듯이, 2차원의 어레이(array) 배열 형태로 패널(panel)이 구성되며, 현재 출시된 DMD chip은 마이크로미터 소자가 13.68 μm 간격으로 수십만 개가 2차원으로 배열되며, 각각 +12°와 -12°의 두 가지 각도로 회전 구동한다. 이 소자에 디지털이란 명칭이 붙는 이유는 마이크로미터가 오직 이 두 가지 회전 각도로 디지털 구동을 하기 때문이다.

이 소자가 좌우로 회전하는 원리는 정전기력에 의한 것으로, 즉, 소자의 구동층과 바닥에 있는 전극 사이에 전압을 가해주면 양쪽 구동층과 전극에 각각 양전하와 음전하가 유기되어 서로 당기게 되어 맨 위의 거울면이 회전하게 된다. 이러한 정전기력은 거시세계에서도 존재하지만 거시세계에서는 대부분의 경우 두 면 사이의 거리가 매우 크고 질량에 의한 중력의 힘이 더 크기 때문에 움직임을 보기 어렵지만, 이와 같이 마이크로미터 단위의 공간에서는 질량에 의한 중력보다 이러한 정전기력이 더 크기 때문에 이 힘을 이용하여 기계적인 구조를 움직일 수 있게 된다.

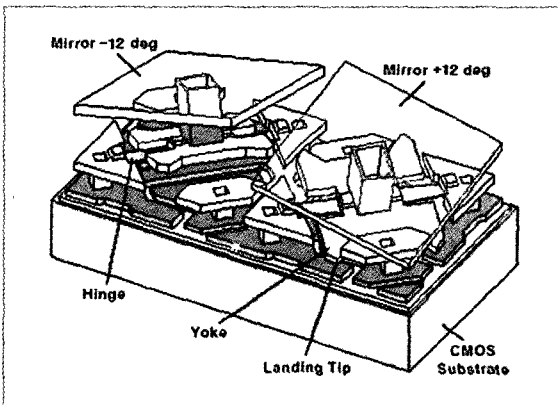


그림 1 DMD의 구조

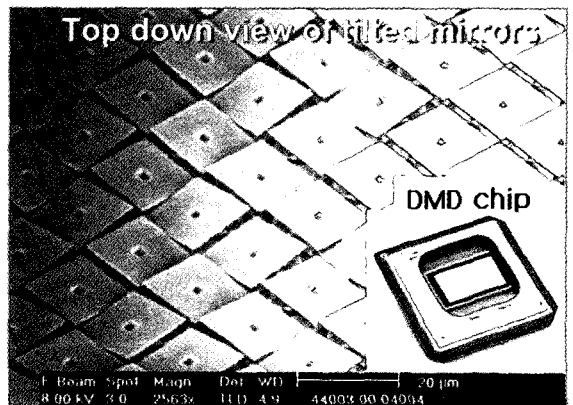


그림 2 DMD의 전자현미경 사진과 DMD chip

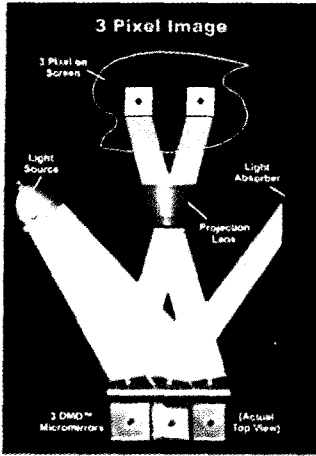


그림 3 DMD의 영상 표시 원리

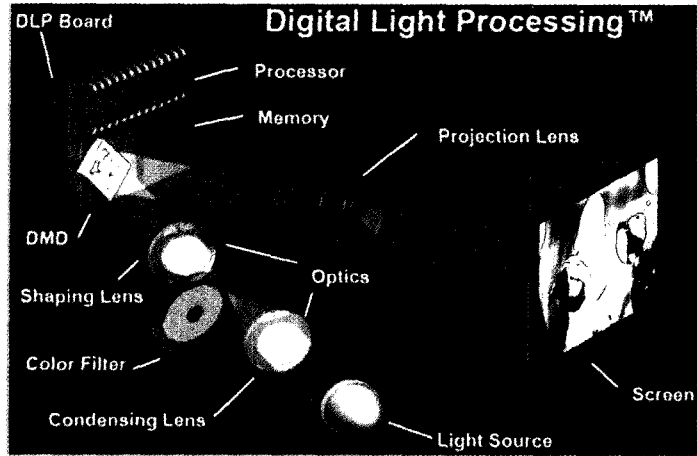


그림 4 Digital Light Processing의 구성 및 원리

그림 3과 같이 왼쪽으로 기울어진 DMD에 반사되는 빛은 렌즈를 통과하여 스크린에 밝은 화소를 표시하게 되고, 오른쪽으로 기울어진 DMD에 반사되는 빛은 렌즈를 통과하지 못하게 되어 스크린에 어두운 화소를 표시하게 된다. 색깔을 표시하기 위해서 색 필터(color filter)를 사용하여, 색깔 별로 DMD 소자가 두 가지 동작 상태를 이용하여 빛을 반사시켜 스크린에 투사시키는 시간의 비율을 조정하여 한 화소의 색을 표시한다. 이것은 바로 MEMS 소자의 구동속도가 수십 마이크로 초 정도로 매우 빠른 특징과 이것을 인간의 눈이 느끼지 못하고 잔상이 남는 성질을 이용한 것이다. 이렇게 CMOS 회로가 형성된 기판 위에 DMD 소자들을 2차원으로 배열시킨 칩과 이를 구동하기 위한 회로 및 광원, 광학계를 이용한 프로젝션 디스플레이 기술을 Digital Light Processing(그림 4)이라고 한다. 이러한 디스플레이 기술은 디지털 방식으로 모든 영상 및 신호를 처리하기 때문에 빛의 이용률이 높아져 매우 밝고 깨끗한 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다.

Sony사의 Grating Light Valve(GLV)

또다른 MEMS 기술을 이용한 디스플레이인 Grating

Light Valve(GLV) 기술은 1990년 스탠포드 대학의 David Bloom 교수에 의해 발명되었다. 1996년에는 Silicon Light Machines 사를 설립하여 연구 개발하였고, 2000년 Sony 사가 이 기술의 가능성을 보고 독점적 개발 및 제조, 판매 계약을 체결하여, 최근에 레이저 광원을 적용시킨 프로젝션 시스템을 발표하였다.

GLV 소자는 두께가 200nm~300nm, 길이가 100~1000 μ m, 폭이 1~10 μ m 정도인 얇고 긴 띠 모양의 마이크로 리본(ribbon)이 1차원으로 배열되어 있는 어레이로 구성된다. 한 화소는 6개의 리본으로 구성되며 각각 3개씩의 구동 리본(moving ribbon)과 고정 리본(fixed ribbon)이 번갈아 가며 위치한다. 그림 5와 같이 전압이 가해지지 않은 상태에서는 리본들은 모두 같은 위치에 있게 되고 입사된 빛은 반사된다. 그러나, 정전기력을 가해 일부 리본들은 그림 5와 같이 움직이게 되면 리본들이 회절(diffraction) 격자로 작용되어 입사된 빛이 회절되어 색깔이 표시된다. 또한, 이러한 리본들의 배치 간격을 조절하면 회절되어 반사되는 빛의 색깔을 바꿀 수 있다. GLV는 6개의 리본을 한 화소 픽셀로, 전체 리본이 선(line) 어레이 형태로 구성된다.

그림 6은 이러한 GLV기술을 이용한 프로젝션 디스

*그림1-4 source: DLP homepage (www.dlp.com)

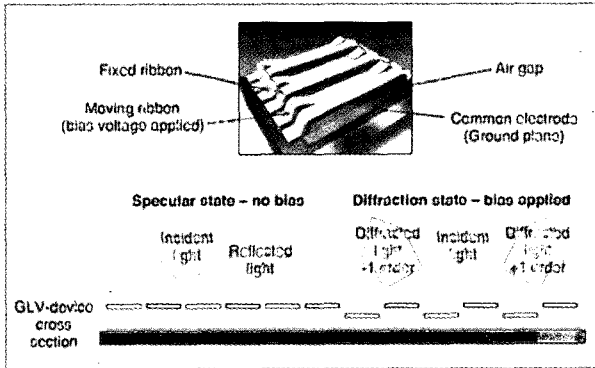


그림 5 GLV의 구조 및 영상 표시 원리

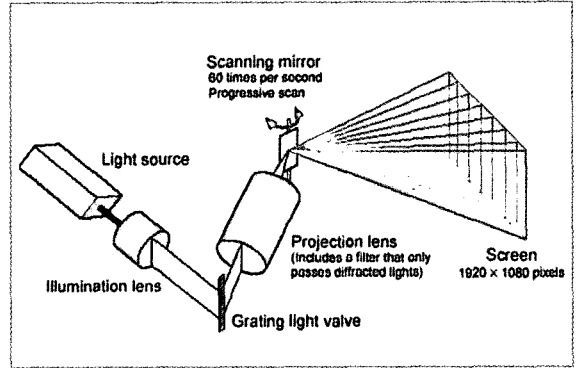


그림 6 GLV를 이용한 프로젝션 디스플레이의 구성 및 원리

플레이의 구성 및 원리를 보여준다. 간섭 특성(coherent)을 가진 광원으로부터 빛을 조사하여 1차원 배열된 리본 형태의 소자들의 회절 특성을 이용하여 화상 표시하게 된다. 레이저 광원을 사용하고 GLV의 1차원 마이크로 어레이를 이용하여 수직 방향 해상도를 구현하고, 그 영상을 스캐닝 미러(scanning mirror)를 이용하여 스캐닝하여 수평 해상도를 구현한다.

이러한 GLV 기술은 얇은 리본으로 화소를 형성하기 때문에 아주 작게 만들 수 있으며 고속 동작이 가능하다. 따라서, 고 해상도로 영상 표시를 할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 1차원 영상을 다시 스캐닝 미러를 이용하여 스캔해야 하므로 광학계의 정렬이 어려운 단점도 있다. 또한, 1차원 배열의 리본들을 편평하면서 표면의 균일도가 높게 만들어야 영상의 색 대조비를 향상시킬 수 있는데, 나노미터 크기에서 리본을 편평하게 만들기는 매우 어렵다.

Sony사가 선보인 GLV 기술을 이용한 프로젝션 디스플레이는 색 순도가 높은 적색, 녹색, 청색의 레이저 광을 광원으로 사용하기 때문에 높은 색 재현율을 실현했다. 1920(가로)×1080(세로)의 해상도를 나타내며 3000:1의 높은 색대조비를 보여줘, 앞으로 상용화될 GLV TV 등의 제품이 매우 기대를 받고 있다.

Qualcomm사의 iMoD

2004년 Qualcomm사는 iMoD 디스플레이 기술을 개발한 벤처회사인 Iridigm사를 인수한다. 이것은 iMoD를 휴대전화 단말기에 적용시켜, 무선통신기기의 가격 및 크기를 감소시키고 저소비전력을 실현하기 위함이었다. 기존의 액정디스플레이에 비해 소비전력을 대폭 줄이고 제조단가를 낮춰 고성능 멀티미디어 기능을 실현하는 게 가능해진다고 발표하였다.

iMoD는 2002년 Iridigm사에서 발표한 기술이며 interferometric modulator(간섭계 변조기)의 약자로 마치 나비의 날개 색이 빛의 간섭현상에 의해 생기듯이 빛의 간섭 현상을 이용하여 영상 표시하는 MEMS 디스플레이 소자이다. iMoD는 유리기판 위에 도전성의 얇은 박막과 정전기력에 의해 움직이는 금속 반사막의 2층 구조로 구성되며 그 사이에 공기층이 존재한다. 전압이 인가되지 않았을 때는 그림 7과 같이 반사막층이 분리되어 보강 간섭 현상에 의해 특정 파장의 색이 선택적으로 반사되어 보이게 된다. 그러나, 전압이 인가되면 반사막층이 움직여서 입사된 빛이 모두 흡수되어

*그림 5,6 source: Silicon light machines homepage (www.siliconlight.com)

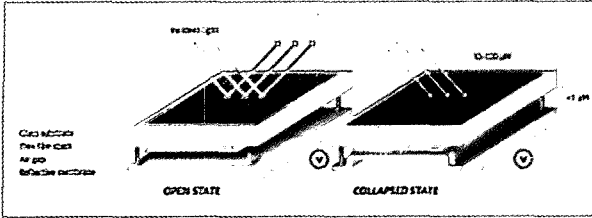


그림 7 iMoD의 구조 및 영상 표시 원리

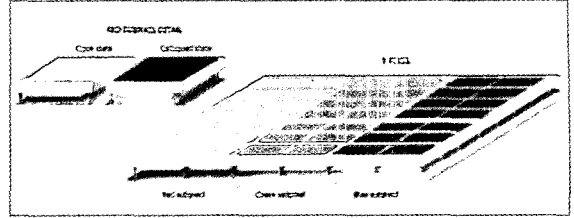


그림 8 iMoD의 색상 표시 원리

검은 색이 표시된다(사실은 자외선을 반사). 소자의 폭이 10~100 μm이며 금속 반사막층과 도전성 박막층 사이의 간격, 즉 공기층이 1 μm 미만이며 10V 미만의 매우 작은 전압으로 구동되며 수 마이크로 초의 고속 동작이 가능하다. 공기층의 간격에 따라 반사되는 빛의 파장을 조절할 수 있어, 이 층의 두께에 따라 화소의 색깔이 결정되는데, 그림 8처럼 청색의 경우 간격이 제일 작고, 적색의 경우가 간격이 제일 크게 된다.

이러한, iMoD 기술은 매우 단순하고 간단한 소자 구조와 제조 공정으로 인해, 기존 LCD 디스플레이에 비해 디스플레이 패널의 가격을 낮추고 고해상도를 실현할 수 있다. 또한 자연광을 이용하여 색감이 우수하고, 영상이 바뀔 때만 소자에 전압을 가해주면 되기 때문에 소비 전력이 낮아 핸드폰, PDA 등의 이동통신기에 적합한 디스플레이이다. 반면, 햇빛이나 외부의 빛이 스크린으

로 입사될 때만 보이게 되므로, 외부에 빛이 있는 곳이나 자체적으로 보조 조명이 있는 경우에만 사용 가능하다.

Laser Projection Display와 미래의 디스플레이 - 언제 어디서나 영상을 표시

현재 디스플레이 기술은 크게 두 가지 사용자들의 요구를 만족시키는 방향으로 연구 개발되고 있다. 점점 더 큰 화면에 해상도를 높이고 색감이 우수한 디스플레이를 개발하는 것과, 디스플레이 패널과 시스템을 소형 경량화시켜서 언제 어디서나 휴대하면서 사용할 수 있는 디스플레이로 개발하는 것이다.

현재 많이 사용되는 평판 디스플레이인 LCD와 PDP를 떠올려보면, 큰 화면의 영상을 표시하기 위해서는

당연히 큰 패널 및 시스템이 필요하게 되어 소형 경량화하면서 대화면 표시를 하는 이 두 가지 요구사항은 동시에 한 시스템에 실현할 수는 없어 보인다. 그러나, 바로 MEMS 스캐닝 마이크로미러(scanning micro-mirror)를 사용한 레이저 프로젝션 디스

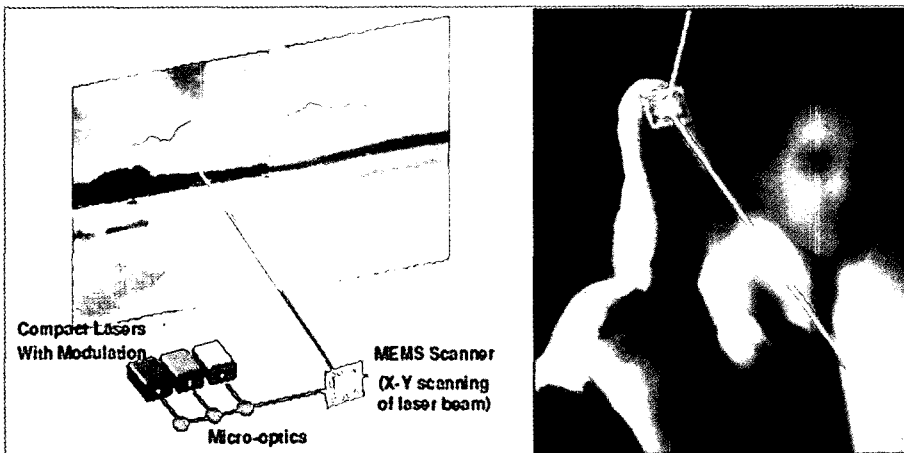


그림 9 MEMS scanning micromirror를 이용한 Laser projection display의 구성 및 원리

*그림 7,8 source: Qualcomm homepage (www.qualcomm.com/qmt)

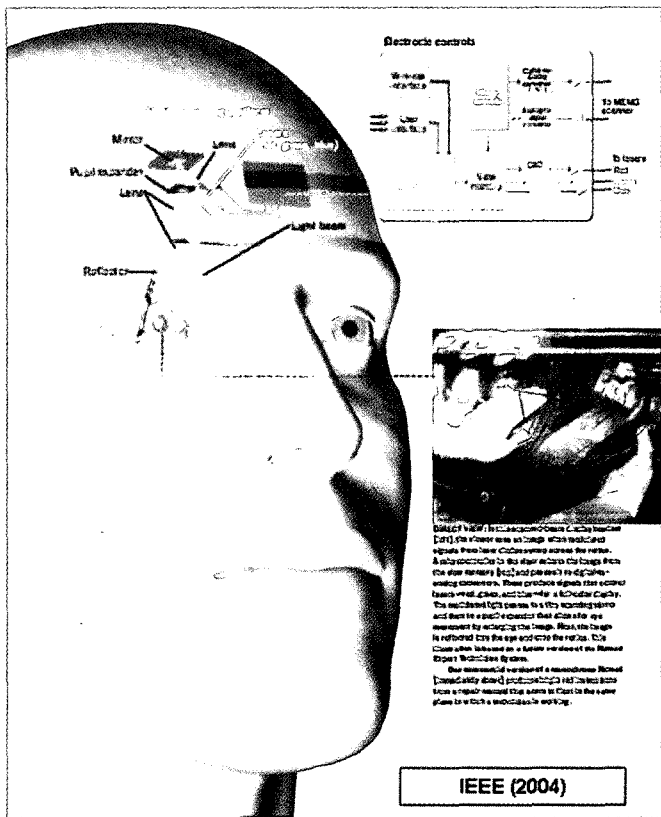


그림 10 IEEE에 소개된 MEMS scanning micromirror를 이용하여 망막에 디스플레이하는 원리 및 구성: 초소형 시스템을 구성하여 인간의 망막에 직접 영상을 디스플레이한다.

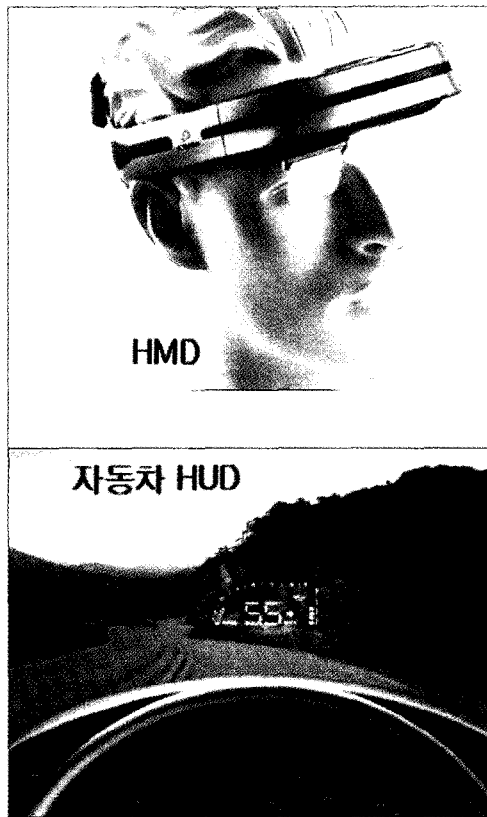


그림 11. 휴대/착용 컴퓨터를 위한 Head Mounted Display(HMD)와 GM사의 자동차에 사용된 Head Up Display(HUD)

플레이 방식은 소형 경량화된 디스플레이 시스템으로 색감이 우수한 대형 화면을 영상 표시할 수 있다.

이것은 이 기술은 기존의 LCD와 PDP 및 MEMS 디스플레이 중 DMD 기술처럼 2차원의 패넬을 이용 하는 것이 아니라, 그림 9와 같이 하나의 MEMS 스캐닝 마이크로미러가 빠른 속도로 XY축으로 회전 동작하여 미러 면에 조사된 레이저를 반사시켜 2차원으로 영상을 스캐닝하여 디스플레이하기 때문이다. 즉, 앞에서 살펴본 DMD 및 iMoD 기술의 경우는 2차원 어레이 패넬로 빛을 변조시켜 2차원 영상을 표시하고, GLV 기술의 경우에는 1차원 어레이 패넬에서 수직 방향으로 변조된 빛을 다시 수평방향으로 1차원 스캐닝하여 2차원 영상을 표시하는데 반해, 하나의 소자를 이용하여 빠른 속도로 2차원으로 래스터 패턴(raster pattern) 영상

을 표시하기 때문이다. 결과적으로 패넬을 사용하는 게 아니라, 하나의 MEMS 소자를 이용할 수 있게 되어 구동회로 및 광학계 등의 시스템을 초소형으로 구성하는 게 가능해지고, 광 이용 효율이 크게 증가된다. 이 역시 MEMS 소자가 매우 작고 빠른 동작 속도를 가지기 때문에 가능한 것이다.

이러한 MEMS 스캐닝 마이크로미러를 이용한 레이저 프로젝션 디스플레이는 현재의 반도체 green laser가 작고 경제성을 가지게 되면 매우 작게 집적화하면서도 대화면의 색감이 우수한 디스플레이를 할 수 있어 궁극의 디스플레이 기술로 각광받고 있다. 현재 미국, 일본의 Microvision, Symbol, Olympus, Canon, Denso 등의 벤처 및 대기업에서, 그리고 우리나라의 삼성전자 및 LG전자 등에서도 개발하고 있다. 그러나,

실용화되기 위해서는 아직 반도체 레이저의 집적화 문제와 MEMS 스캐닝 마이크로미러의 구동전압 및 속도가 좀 더 개선되어야 한다.

이러한 MEMS 스캐닝 마이크로미러를 이용한 레이저 프로젝션 디스플레이는 MEMS, 반도체 광원, 회로 설계 및 구동, 초소형 광학계 제작 기술 등의 최첨단 반도체, 전자, 광학 기술들이 집약된 시스템이며 저가격, 초소형, 고해상도 디스플레이가 가능할 것으로 예상되고 있다. 이러한 기술은 미래의 이동통신 기술의 발달과 접목되어 모바일 용 디스플레이 및 휴대/착용 컴퓨터 (wearable computer), Head Mounted Display(HMD), Head Up Display(HUD) 등에 사용될 것으로 예상되며 현재 연구 개발을 통해 시제품이 출시되고 있다. (그림 10,11 참조)

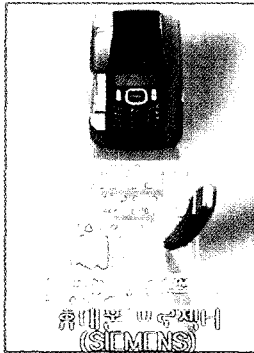
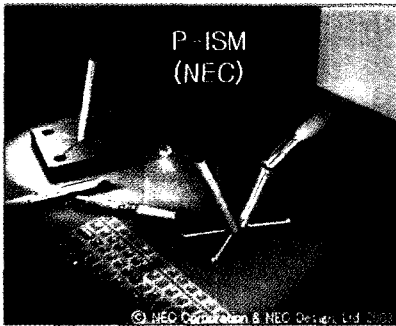


그림 12 MEMS 기술을 이용한 미래의 디스플레이 개념: NEC의 P-ISM(Pen-style Personal Networking Gadget Package)와 SIEMENS의 휴대폰 프로젝트 - 입력개체와 이동통신기가 결합된 초소형 전자기기로 언제 어디서나 레이저 프로젝션 디스플레이가 가능하다.

MEMS와 미래의 디스플레이, 그리고 새로운 도전

휴대폰, DMB, PDA 등의 모바일 기기의 경우 동영상 콘텐츠의 사용이 증가되면서 디스플레이 사이즈가 커지고, 디스플레이 이미지의 품질이 향상되는 방향으로 기술이 진화하고 있다. 이동통신 기술 및 컴퓨터 기술과 디스플레이 기술은 이제 서로 별개의 기술이 아니라 기술의 융·복합화(convergence)가 발생하고 있다. 이들 모두 융합되면서 서로의 필요에 의해 새로운 기술이 필요해지고, 또다시 기술이 합쳐져 새로운 제품이 탄생하고 있다. 이렇게 현재의 서로 다른 기술이 융합되는 시점에서 디스플레이 분야에서도 새로운 아이디어가 나오고 있다. (그림 12 참조)

세상에 존재하는 수많은 TV, 휴대폰, 컴퓨터 등 디스플레이가 필요한 제품과 장소마다 그만큼 서로 다른 디스플레이가 필요해지고 있다. 현재도 그렇듯이 미래에도 다양한 디스플레이 기술들이 서로 각축을 벌이며 단점을 보완하고 장점을 극대화하며 다양하게 응용될 것이다. 또한, 현재 상상만 하던 디스플레이 기술이 눈 앞에 실현된 것이다. 미래의 디스플레이를 실현하는, 그 기술의 중심에 바로 MEMS 기술이 있다. 한 사람의 새로운 창의적인 아이디어와 발명이 미래의 모습을 바꿀 수 있을 것이다.