

### PSD를 이용한 MMAD의 동작특성 측정에 관한 연구

김종국\* . 김호성\* . 신형재\*\*  
중앙대학교 전기공학과 . 삼성전자\*\*

### Measurements of Dynamic Response of Micro-Mirror using Position Sensitive Detector

Jong-kook Kim\* . Ho-seong Kim\* . Hyung-jae Shin\*\*

Department of Electrical Engineering, Chung-Ang University\* . Samsung Electronics, LTD\*\*

**Abstract** - Measurement equipment, which consists of He-Ne laser, objective lens, CCD camera and position sensitive detector, was developed for the dynamic response of micromirror. This equipment can measure the tilting direction and angle, the rise time and frequency response of micromirror to the input signal. It was found that the rise time of the micromirror was less than  $10\mu s$  and the resonant frequency was about 25kHz.

#### 1. 서 론

90년대에 접어들면서 MEMS(Micro-Electro-Mechanical-System) 기술에 micro optics가 결합된 형태인 MOEMS(Micro-Opto-Electro-Mechanical System)분야가 새로운 연구대상으로 많은 주목을 받고 있으며, 지금도 그 응용범위는 계속해서 확대되고 있다. TI사(Texas-Instruments)에서 대형화면용 표시 장치인 DMD(Digital-Micromirror-Device)가 개발된 이래로 micro scanner, micro optical interferometer, 광통신에 사용되는 wavelength tuner, mechanical anti-reflection switch 등과 같은 MOEMS 분야의 다양한 장치들이 개발되어 왔다. 초소형 거울이 바둑판 모양으로 array를 이루고 있는 micromirror array는 거울을 이용한 반사식이므로 광효율이 높아 밝은 공간에서도 사용할 있으며 표시속도가 빠르고, 소비전력이 적으며, 장비를 얇게 제작할 수 있다는 장점과 함께 각각의 micromirror 하나 하나를 on, off 시키는 digital 방식이어서 표시 장치뿐만 아니라 많은 분야에서 응용되고 있다. micromirror의 기본적인 동작원리를 그림 1에 나타내었다. 빛을 micromirror의 오른쪽에서  $20^\circ$  각도로 입사시키고, 오른쪽 전극에 전압을 가하면 micromirror와 오른쪽 전극사이의 전위차에 의한 정전력이 생겨 mirror는 flat한 상태에서 오른쪽으로  $10^\circ$  기울어지게 된다. 이때 micromirror에 입사된 빛은 flat한 상태에 대해 정확히 수직으로 반사되므로 projection lens를 거쳐 screen에 표시되게 된다. 반면 왼쪽 전극에 전압을 가하면 micromirror는 왼쪽으로  $10^\circ$  기울어지게 되는데 이때 반사되는 빛은 projection lens를 벗어나게 되므로 screen에 나타나지 않게 된다. 이렇게 각각의 micromirror를 on, off 시키는 방식으로 screen에 원하는 이미지를 형성할 수 있다.

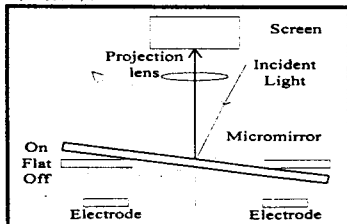


그림 1. Micromirror의 동작 개념도

그림 2는 micromirror 한 개의 구조와 동작시의 모습을 보여준다.

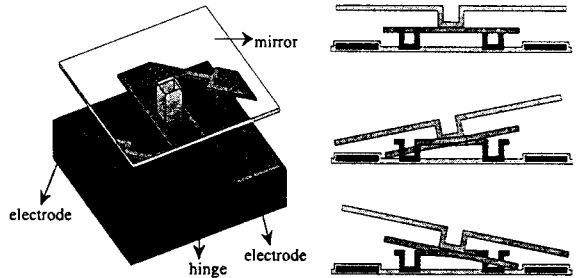


그림 2. Micromirror의 구조 및 동작시 모습

본 연구팀에서 제작한 micromirror array는 micromirror 한 개의 크기가  $50\mu m \times 50\mu m$ 이며 기울어진 각도에 따라 반사광의 방향을 변화시키는 장치이다. 따라서 이러한 micromirror의 입력신호에 대한 반응속도 및 주파수 응답, 그리고 기울어진 각도 및 방향, 공진 주파수, array를 이루고 있는 각 mirror들의 동작특성의 균일도를 측정하는 것은 설계 단계뿐만 아니라 양산 단계에 있어서도 필수적인 과정이다. 그러나 입사되는 laser beam의 크기를 micromirror의 크기보다 훨씬 작도록 하고, mirror에 의한 반사광이 퍼지지 않도록 해야만 정확한 측정이 가능한데 이러한 광학장치를 구성하는 것은 많은 어려움이 따른다. 더구나 mirror의 움직임 또한 매우 미세하여 그 동작특성을 측정하는데 있어서 많은 어려움이 있기 때문에 아직 이 부분에 대한 연구가 거의 없었다. 이에 본 연구에서는 micromirror array가 동작할 때 각각의 micromirror에 대해 그 기울어지는 각도 및 동작특성을 측정할 수 있는 장치를 개발하고자 하였다. 본 측정장치는 광학부에 He-Ne laser, objective lens, CCD camera 등을, 신호처리부에 position sensitive detector(이하 PSD), 전자회로, microprocessor를 사용하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 측정장치의 구성

그림 3에 측정장치의 구성도를 나타내었다. 측정장치는 크게 광학부와 신호처리부로 나뉘어진다. 광학부에는 source로 사용되는 10mW He-Ne Laser, laser beam의 집속을 위한 objective lens(배율 40배, W/D=6.8mm, f=6.06mm, NA=0.45), 측정과정의 monitoring을 위한 CCD 카메라, XYZ translation stage를 사용하였다. 그리고 mirror에 의해 반사되어 PSD로 입력되는 빛의 power를 높이기 위해 B/S 1과 B/S 3은 편광 beam splitter를 사용하였고, He-Ne Laser의 편광방향은 B/S의 편광방향과 일치되도록 광축정렬을 하였다.

또한, 광학부에는 He-Ne laser의 초점거리와 illuminator의 초점거리를 서로 다르게 하고, micromirror가 움직이면서 생기는 변위를 크게 하기 위해 lens1 ( $f=500\text{mm}$ , Plano-Convex)을 사용하였다. 신호처리부는 micromirror에 의해 반사되는 빛의 위치를 검지하기 위한 PSD, PSD의 signal을 처리하여 X, Y방향의 변위를 전압 값으로 출력시키는 전자회로, X, Y값을 이용하여 micromirror의 기울어진 각도를 측정하기 위한 microprocessor부로 구성되었다.

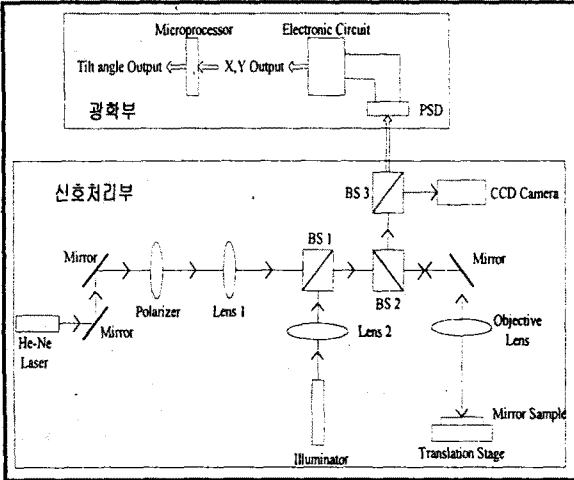


그림 3. 측정장치의 구성도

## 2.2 Micromirror의 동작특성 측정

먼저 illuminator와 CCD camera를 통해 micromirror의 위치를 파악한 후 He-Ne laser에서 발생한 빛이 micromirror 한 개에 정확히 입사되도록 X-Y stage를 조정하고, objective lens와 연결된 Z stage를 조정하여 micromirror 표면에서 초점의 크기가 최소가 되도록 한다. micromirror에 맞고 반사된 빛은 objective lens와 BS2, BS3를 통과하여 PSD로 입사된다. 이때 입사되는 빛이 PSD의 정중앙에 오도록 PSD의 위치를 조정하여 X, Y출력이 zero가 되도록 한다. 다음으로 micromirror의 전극에 전압을 가하여 micromirror가 움직이도록 하면 그 움직임에 따라 빛은 다른 각도로 반사되고, 그 변위만큼 PSD에는 각각 다른 위치로 빛이 들어가게 된다. 빛이 맞는 위치 즉, 변위에 따라 PSD는 다른 signal을 발생하는데 이를 전자회로에서 처리하여 X, Y의 두 방향 변위 data를 전압출력 값으로 얻는다.

## 2.3 Micromirror의 동작각도 측정

flat한 일반 mirror를 사용하여 전자회로의 X, Y출력이 zero가 되도록 PSD의 위치를 조정 한 후 calibration을 위해 제작한  $10^\circ$ 로 기울어진 일반 mirror를 sample의 위치에 놓고 위와 같은 방법으로 electronic circuit의 X, Y결과 값을 얻어 이 data를 mirror가  $10^\circ$ 로 기울어졌을 때의 reference값으로 정한다. 이 때 측정되는 mirror의 기울어진 방향과 PSD의 X, Y축이 정확하게 일치하지 않으면 X, Y의 두 방향으로 변위값이 출력되게 된다. 그러므로  $10^\circ$  기울어진 mirror의  $\sqrt{X^2 + Y^2}$ 값에 대한 micromirror의  $\sqrt{X^2 + Y^2}$ 값의 비로써 micromirror의 기울어진 각도를 측정하였다. 이 과정을 microprocessor를 사용하여 연산하였고, 계산된 결과가 컴퓨터에 저장되고 모니터에 표시되도록 하였다.

## 2.4 측정결과

그림 4 - 그림 7은 전자회로의 출력을 oscilloscope로 측정한 결과이며, 그림에서 위의 신호는 X축 변위이고, 아래의 신호는 Y축 변위이다. 신호의 High부분은 mirror가 flat한 상태를, Low부분은 micromirror의 전극에 전압이 가해져 micromirror가 기울어진 상태를 나타낸다. 그림 4는 micromirror 구동 신호의 주파수가 10Hz일 때의 출력이며, micromirror가 기울어지면서 X축, Y축 두 방향으로 각각 약 -1V정도의 변위가 생겼음을 알 수 있다. 그림 5는 전극에 가해졌던 전압이 제거되면서 다시 flat한 상태로 돌아올 때의 결과이며 micromirror가 공진 하고 있음을 알 수 있다. 이 때 micromirror의 공진 주기는  $40\mu\text{s}$  (25kHz)이고, 공진이 200 $\mu\text{s}$ 정도 지속됨을 볼 수 있다. 그림 6은 micromirror 구동 신호의 주파수를 5kHz로 증가시켰을 때의 결과이며 공진 신호가 구동 신호의 펄스 폭보다 길게 지속되어 파형이 많이 왜곡됨을 알 수 있다. 그림 8은 micromirror 구동 신호의 주파수를 18kHz로 증가시켰을 때의 결과이며 구동 신호 주파수가 공진 주파수(25kHz)에 근접하면서 공진이 일어남을 알 수 있다.

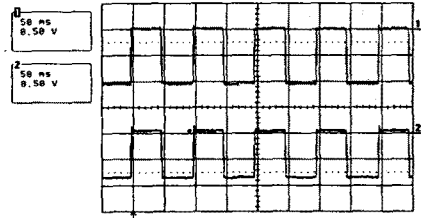


그림 4. MMAD 동작특성 측정결과(1)

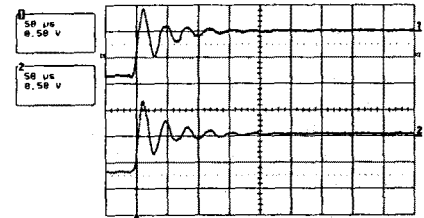


그림 5. MMAD 동작특성 측정결과(2)

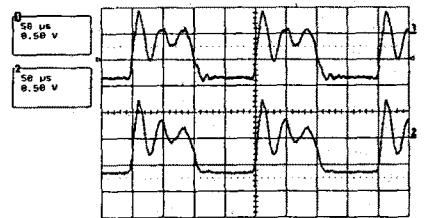


그림 6. MMAD 동작특성 측정결과(3)

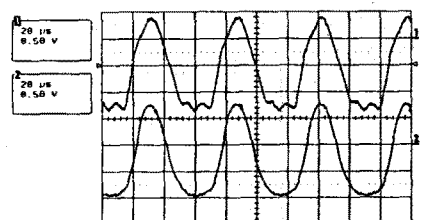


그림 7. MMAD 동작특성 측정결과(4)

그림 8 - 그림 11은 다른 micromirror에서 측정한 결과이며, micromirror가 기울어 질 때와 다시 복귀할 때의 출력신호를 시간 축에서 확대한 결과로 나타내었다. 이들 그림에서 위의 신호는 출력 신호, 아래의 신호는 micromirror 구동 신호이며, 출력신호에서 볼 때 이번에는 Low 부분이 micromirror가 flat한 상태이고, High부분이 micromirror가 기울어진 상태이다. 그림 8, 9는 laser beam을 micromirror가 실제로 up/down되는 모서리 부분에 위치하도록 하여 측정한 결과이다. 그림 8은 mirror가 기울어져 있다가 flat상태로 돌아오면서 생기는 변위를 측정한 파형이며, 그림 5에서와 같이 공진 주파수가 25kHz이고, micromirror의 반응시간은 10 $\mu$ s임을 알 수 있다. 그림 9는 micromirror가 flat상태에 있다가 기울어지면서 생기는 변위를 측정한 파형이다. 이 micromirror는 앞의 micromirror와는 달리 기울어질 때와 다시 복귀할 때 모두 공진이 일어나는 것을 확인할 수 있다. 그런데, 그림 9 경우의 공진 주파수는 그림 5, 8과는 달리 50kHz임을 볼 수 있다. 이렇게 두 경우의 공진 주파수가 다른 이유는 그림 2에서 보듯이 micromirror가 기울어질 때는 micromirror의 아래쪽에 위치하고 있는 hinge가 먼저 닿은 상태에서 micromirror만 공진 하므로 무게가 가벼워 공진 주기가 짧고, 반대로 micromirror가 다시 flat상태로 돌아올 때는 micromirror의 무게에 hinge의 무게까지 더해져 그 만큼 micromirror의 공진 주기가 길어지기 때문인 것으로 사료된다.

그림 10과 그림 11은 laser beam을 micromirror의 중앙 대각선축상에 입사되도록 하여 측정한 것이다. 이 경우에도 그림 8, 9의 경우와 마찬가지로 micromirror가 flat상태에서 기울어질 때의 공진 주기가 그 반대 경우의 공진 주기보다 2배 더 빠름을 알 수 있다. 그러나, flat상태로 돌아올 때(그림 8, 10)는 공진 크기가 거의 같은데 반해 기울어질 때에는 그림 11의 경우가 그림 9의 경우에 비해 공진 크기가 현저히 감소하였음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 micromirror의 공진 모드는 위치에 따라 달라짐을 알 수 있고, 이러한 결과는 micromirror의 구조설계에 중요한 데이터로 사용될 수 있으리라 사료된다.

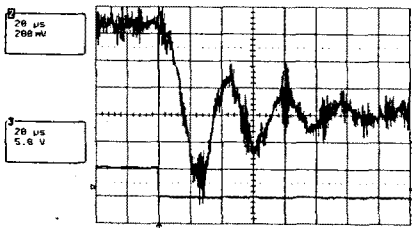


그림 8. MMAD 동작특성 측정결과(5)

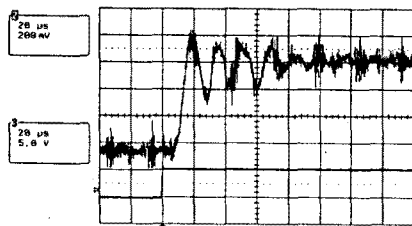


그림 9. MMAD 동작특성 측정결과(6)

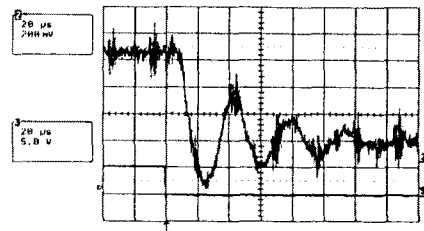


그림 10. MMAD 동작특성 측정결과(7)

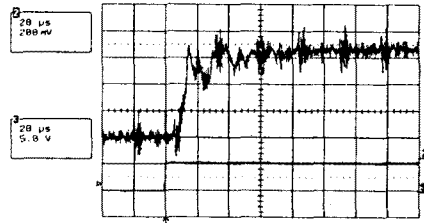


그림 11. MMAD 동작특성 측정결과(8)

### 3. 결 론

본 연구에서는 각각의 micromirror에 대해 그 동작특성을 측정하고, micromirror가 기울어진 각도를 측정할 수 있는 장치를 개발하였다. 이 장치는 micromirror가 움직이는 각도에 따라 다른 각도로 반사되는 빛을 PSD로 수신하여 처리하는 방법을 이용하였다. micromirror의 반응시간은 10 $\mu$ s이하이었으며 micromirror가 기울어질 때와 다시 복귀할 때의 공진 주파수는 각각 50kHz, 25kHz이었다. 또한, micromirror의 공진 모드가 상당히 복잡함을 알 수 있었고, 각각의 micromirror에 따라 동작특성에 차이가 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서 개발된 이 장치는 micromirror를 사용하는 대부분의 MOEMS의 동작특성을 측정하는데 유용하게 사용되리라 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Texas Instruments Inc., "Automatic testing of the digital micromirror device", IEEE/LEOS 1996 Summer Topical Meetings, p11-12, 1996
- [2] Jack M.Younse Texas Instruments Inc., "Mirrors on a chip", IEEE SPECTRUM, November, P27-31, 1993
- [3] Hoseong Kim, Kwangwoo Cho, "Automatic Test Equipment for the Micro-Mirror Array", spie, Vol 3276, p103-110, 1997
- [4] J. Wilson, J. F. B. Hawkes, "Lasers Principles and Applications", p283-287, 1988
- [5] James T. Luxon, David E. Parker, "Industrial Lasers and Their Applications", second Edition, p78-79, 1992
- [6] 김도형, 김호성, "마이크로 미러의 광학적 특성 측정", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, C, p1954-1956, 1996
- [7] B.E.A. Saleh, M.C. Teich, "Fundamentals of PHONICS", p657-662, 1991