

## 공초점현미경과 원자현미경을 이용한 초정밀 가공된 시료 표면의 영상측정

김종배\*, 배한성, 김경호, 남기중(고등기술연구원), 권남익(한국외국어대)

### Analysis of a micro-processed sample surface using SCM and AFM

Jong-Bae Kim, Han Sung Bae, Kyeong Ho Kim, Gi-Jung Nam(IAE), Namic Kwon(HUFS)

#### ABSTRACT

Surface quality of a micro-processed sample with laser has been investigated by using of scanning confocal microscope(SCM) and atomic force microscope(AFM). Samples are bump electrodes and ITO glass of LCD module used in a mobile phone and a wafer surface scribed by UV laser. A image of  $140 \times 20 \mu\text{m}^2$  is obtained within 1 second by SCM because scan speed of a x-axis and y-axis are 1kHz and 1Hz, respectively. AFM is able to measure correctly hight and width of ITO and scribing depth and width of a wafer with a resolution less than 300nm. However, the scan speed is slow and it is difficult to distinguish a surface composed of different kinds of materials. Results show that SCM is preferable to obtain a image of a sample composed of different kinds of material than AFM because the intensity of a reflected light from surface is different from each material.

**Key Words :** Scanning Confocal Microscope(공초점현미경), Atomic Force Microscope(원자현미경), Frame Grabber board(영상획득보드), Data Acquisition board(자료획득보드)

#### 1. 서론

공초점현미경(Scanning Confocal Microscope)은 광원에서 나온 광속이 집속 렌즈에 의해 시료 표면에 조사되고, 시료깊이의 변화를 빛의 세기의 변화로 검출하여 영상으로 구현하는 주사형 현미경이다. 1940년대 말에 Robert와 Young에 의해 단순한 형태의 공초점현미경이 제작되면서부터 본격적인 연구가 시작되었다. Marvin Minsky<sup>1</sup>가 1957년 스테이지 공초점 광학시스템(stage scanning confocal optical system)을 이용한 현미경특허를 출원한 이후 보다 발전된 형태의 공초점현미경이 제안되고 실험되어졌다. 1980년대에 접어들면서 Tony Wilson<sup>2</sup>에 의해 활발한 연구가 시작되어, 더욱 좋은 영상을 얻기 위해 바늘구멍 대신 슬릿<sup>3</sup>을 이용한 공초점현미경 등이 개발되었다. 또한 국내에서도, 탐침의 크기가 1.2mm? .5mm? .5mm인 소형 공초점현미경<sup>4</sup>뿐만 아니라, 4분할 광검출기(photodiode)<sup>5</sup>나 마이켈슨 간섭계<sup>6</sup>, 광섬유<sup>7</sup> 등을 이용한 공초점현미경이 개발되었다.

이러한 공초점현미경이 가지고 있는 장점은 기존

의 광학현미경에 비해 초점심도가 낮기 때문에 초점을 벗어난 영상을 제거할 수 있으므로 선명하고 감도 높은 영상을 얻을 수 있고 조직에 대한 침해 없이 광학적인 절편영상을 만들기 때문에 기존의 전자현미경 기법에서 문제가 되는 물리적인 절편제작과정에서 발생하는 인위구조(artifact)를 없앨 수 있다. 또한 광학적인 절편영상을 만들 때 수평면뿐 아니라 수직면으로도 단면의 영상을 얻을 수 있기 때문에 현미경의 광축에 평행한 영상을 얻을 수 있다. 이러한 기술은 시료를 옆에서 보는 효과를 주기 때문에 시료의 높이 변화를 관찰할 수 있다\*.

원자현미경(Atomic Force Microscope)은 시료표면 원자와 탐침 끝의 원자간의 인력을 이용하여 표면정보를 측정하는 현미경이다. 표면굴곡에 따라 휘어지는 캔틸레버에 레이저를 조사하고, 이때 반사되는 레이저 빛의 양을 이용하여 영상을 구현하는 것이다. 이것보다 간단한 형태의 전단 변형힘(Shear force) 원자현미경은 광섬유를 에칭하거나 풀링하여 탐침을 만들고 이를 시료표면에 접근시켜 이때 z축에 공급된 전압의 양을 이용하여 표면 정보를 측정

하는 방법이다. 이 원자현미경은 광섬유 탐을 이용하므로 쉽게 레이저를 커플링 할 수 있어서, 시료 표면에 반사 또는 투과 되는 레이저 양으로 보다 자세한 정보를 얻을 수 있다. 그래서 진공중이나, 공기중, 극저온 상태에서의 전단 변형힘 연구나 반사되는 레이저 양을 이용한 표면측정 등 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>9,12</sup>

이러한 현미경은 시료 표면의 정보를 측정하는데 사용된다. 공초점현미경은 반사되는 레이저 양으로 시료 표면 정보를 분석하기 때문에 재질이 다른 시료의 경우, 높이 정보는 정확하게 측정할 수 없지만 재질의 정보는 알 수 있다. 반면에 전단 변형힘 원자현미경은 재질의 정보는 알 수 없지만 정확한 높이 정보는 측정할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 공초점현미경과 전단 변형힘 원자현미경을 이용하여 Bump, ITO glass, 초정밀 가공된 웨이퍼 표면을 측정하고 비교해 보았다.

## 2. 실험

### 2.1 공초점현미경

전체적인 실험 장치는 그림 1과 같고, 광섬유를 직접 구동하는 레이저 주사 타입의 공초점현미경으로 구성하였다. 사용한 광원은 780nm이고, 반경이 3mm인 대물렌즈를 사용하였다. 편광유지 단일모드 광섬유(single mode polarization maintaining fiber)는 0.45 NA에 core 크기가 5.3  $\mu\text{m}$ 이다. 측정된 레이저 반사 신호를 처리하기 위하여 변화스캔(variable scan) 방식의 영상획득보드(frame grabber board)를 사용하였다. 변화스캔 방식은 영상의 시작이나 선을 표현하는 시간 및 y축 방향의 선 수, x축 방향의 선 픽셀 수 등을 임의로 변화시켜 scan 할 수 있어서, 실험에 사용하는 하드웨어의 scan 속도에 맞게 조절할 수 있다. 스캔은 x축 스캐너에 사인파를 y축 스캐너는 톱니파를 공급하고 각기 나오는 동기 신호(Synchronization pulses)를 이용하여 수평 동기 신호(H-Sync)는 새로운 선의 시작을, 수직 동기 신호(V-Sync)는 새로운 영상의 시작을 맞추는데 사용하였다.

x축 구동은 얇은 금속판에 영구자석과 광섬유를 붙이고, 자석과 솔레노이드 코일과의 상호작용으로 직접 구동시켰다. 솔레노이드 코일에 교류전류를 공급하면 변화하는 자속과 금속판의 영구자석이 상호작용하게 되고, 이렇게 형성된 튜닝 포크에 의해 광섬유가 x축으로 진동하게 된다. 본 실험에서는 금속판의 길이를 6mm, 두께는 0.25mm로 제작하여 1.24kHz의 x축 scan 속도와 250 $\mu\text{m}$  정도의 스캔 범위를 얻을 수 있었다.

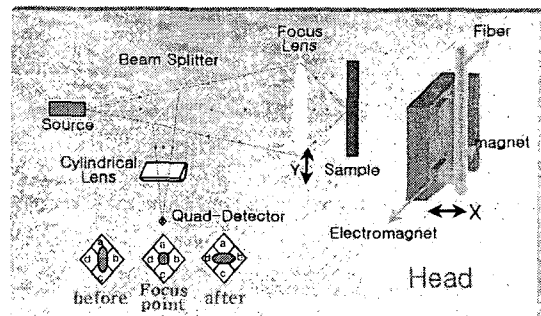


Fig. 1. Scheme of SCM.

### 2.2 Shear force 원자현미경

전체적인 실험 장치는 그림 2와 같고, 전단 변형힘을 이용하여 시료의 깊이 정보를 측정하도록 구성하였다. 약 32kHz의 공명주파수를 갖는 수정진동자에 광섬유 탐침을 붙인 헤드를 구성한 뒤, 이것을 시료 표면에 서서히 접근시킨다. 시료 표면과의 거리가 가까워짐에 따라 광섬유 탐침과 시료 표면과의 상호작용에 의해서 수정진동자의 진폭이 감소하게 된다. PID 회로의 조정값을 50nm로 고정시켜두면 Z축에 사용한 압전소자의 공급 전압을 제어하여 광섬유 탐침과 시료와의 거리를 일정하게 유지시키게 된다. 이 상태에서 시료를 X-Y축으로 스캔 하고, 이때 변화하는 압전소자의 공급전압을 이용하여 영상을 측정할 수 있다. 여기서 스테이지는 SGSP(MS)26-100 (SIGMA KOKI사)을 사용하였다. 영상처리에는 DT9802(Data Translation사) 자료획득(Data Acquisition) 보드를 사용하였다. 그리고 실험에 사용한 광섬유 탐침은 예칭방법을 사용하여 직접 제작하였다. 광섬유는 FS-SN-4224 (Thorlabs)를, 예칭용액은 40% HF를 사용하였다.

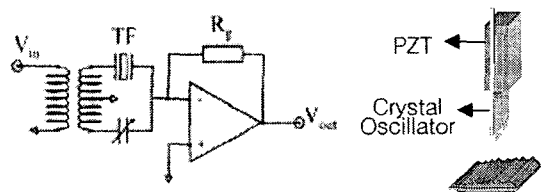


Fig. 2. Scheme of AFM.

## 3. 실험 결과

### 3.1 공초점현미경 영상

이 실험에서 사용된 시료는 핸드폰 LCD 모듈에 사용되는 Driver IC 칩이 집적되어 있는 필름 위의 Bump 전극, LCD 유리판위의 ITO 전극, 초정밀 가공된 웨이퍼로 레이저 접합과 레이저 가공 품질을 측정하기 위해 사용하였다.

그림 3은 Bump의 중앙부분을 광학현미경과, 공초점현미경으로 측정한 영상이다. 여기서 공초점현미경의 전체 스캔 영역은  $140 \times 20 \mu\text{m}^2$ 이고 초당 1장의 영상을 얻을 수 있었다. Bump의 크기를 측정해 보았을 때  $65 \mu\text{m}$ 이다. Bump의 경우, 전극 부분은 전기가 잘 통하는 금속으로 되어있고, 이외의 부분은 필름으로 되어있다. 공초점현미경은 반사되는 레이저의 세기를 이용하여 영상을 측정하므로 이와 같이 두 가지 성분으로 구성된 시료의 경우, 전극에 비해 반사량이 매우 적은 필름 부분의 영상은 볼 수가 없다.

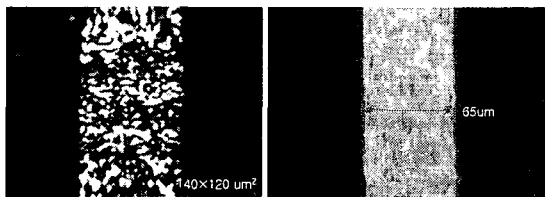


Fig. 3 Bump image of SCM(left) and optical microscope.(right)

그러나 그림 4에서와 같이 동일한 재질로 되어있는 시료일 경우에는 초점의 위치를 변화시켜 바닥의 영상도 볼 수가 있다. 이 경우는 초점의 위치를  $40 \mu\text{m}$  이동시킨 것이다. 웨이퍼의 한 부분을 찍은 영상으로 전체 영상의 크기는  $175 \times 35 \mu\text{m}^2$ 이고 초당 한장의 영상을 얻을 수 있었다.

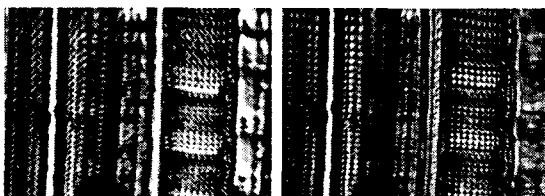


Fig. 4 Wafer image of SCM obtained at different focal position:  $0 \mu\text{m}$  (left) and  $40 \mu\text{m}$  down focal position(right).

그림 5는 ITO glass의 영상이다. 공초점현미경으로 얻은 영상의 경우, 전극부분의 크기가  $70 \mu\text{m}$ 로 측정되었고, 영상의 전체 크기는  $140 \times 20 \mu\text{m}^2$ 으로 초당 1장의 영상을 얻을 수 있었다. 전극 부분에서 원형의 이물질들을 볼 수 있는데, 이것은 먼지로 생각되며 광학현미경의 영상에서도 관찰되었다.

ITO glass의 경우, 전극부분은 투명 금속으로 이루어져 있고, 이외의 부분은 유리로 되어있다. 광학현미경으로 관찰한 영상을 보면, 전극부분은 밝게 보이고 유리부분은 약간 흐리게 보여 상대적으로 전극부분의 높이가 크게 보였고, 공초점현미경의 경우에는 유리 부분이 거의 안보임을 볼 수 있다. 그림 7

에서 ITO glass의 높이가  $300 \text{nm}$ 임을 고려해 보았을 때, 빛을 이용하여 영상을 얻는 공초점현미경이나 광학현미경의 경우 재질이 다른 시료 영상의 높이 정보를 측정하기에는 무리가 있음을 볼 수 있다.

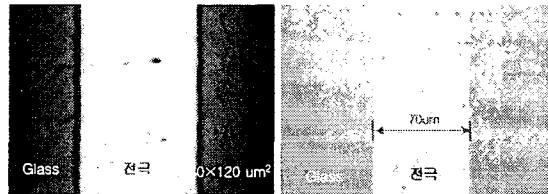


Fig. 5 ITO glass image of SCM(left) and optical microscope.(right)

그림 6은 레이저 가공된 웨이퍼의 영상으로 공초점현미경의 경우, 전체 영상의 크기가  $140 \times 20 \mu\text{m}^2$ 로 측정되었다. 가공된 영역의 폭은 공초점현미경의 경우,  $15 \mu\text{m}$ 이고 광학현미경의 경우,  $12 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 여기서도 가공된 영역의 공초점현미경 영상이 빈 공간처럼 관찰된다. 이것은 레이저에 의해 열적 손상을 입어 레이저의 반사율이 급격하게 감소하여 이와 같이 보이는 것이라 생각된다.

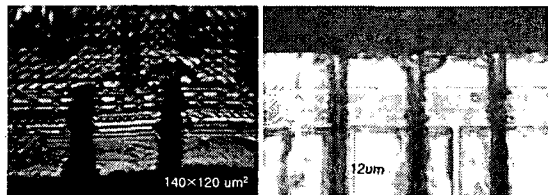


Fig. 6 Wafer image of SCM(left) and optical microscope.(right)

### 3.2 원자현미경 영상

원자현미경 영상 측정은 ITO glass와 레이저 가공된 웨이퍼를 사용하였다.

그림 7은 ITO glass의 원자현미경 영상으로 전체 크기는  $200 \times 100 \mu\text{m}^2$ 이며, 한 장의 영상을 얻는데 90분의 시간이 소요됐다. 전극 부분의 폭은  $71 \mu\text{m}$ 로 비교적 정확하게 측정되었는데, 이는 사용한 스테이지의 분해능의  $0.5 \mu\text{m}$ 로 정확하기 때문이다. 가장 첫 번째 데이터로 전극의 높이를 측정해 보았을 때  $300 \text{nm}$ 로 측정되었다.

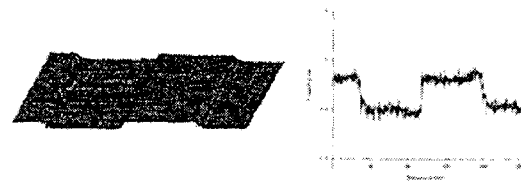


Fig. 7 ITO glass image of AFM

공초점현미경에서는 유리부분이 검정색으로 보여 전극과의 높이차가 심해보였으나, 원자현미경으로 전극의 높이를 정확하게 측정할 수 있었다.

그림 8은 레이저 가공된 웨이퍼 표면을 원자현미경으로 측정해 본 영상이다. 전체 영상의 크기는  $40 \times 0.1 \mu\text{m}^2$ 이고 가공된 바닥부분의 폭은 약  $3 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 첫 번째 데이터 값으로 깊이를 측정해 본 결과  $2 \mu\text{m}$ 임을 알 수 있었다.

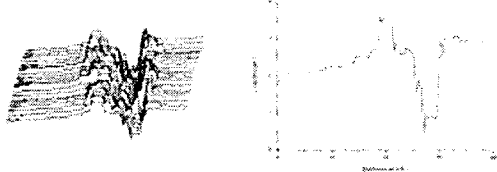


Fig. 8 AFM image of a wafer scribed by laser

#### 4. 결론

지금까지 공초점현미경과 원자현미경을 사용하여 LCD 모듈의 Bump 전극, ITO glass, 레이저 가공된 웨이퍼 시료의 표면 영상을 측정하여 보았다. 공초점현미경은 시료 표면에서 반사되는 레이저의 세기를 이용하여 영상을 획득하는 장치로써,  $140 \times 20 \mu\text{m}^2$  크기의 영상을 획득하는데 1초의 시간이 걸렸다. 그리고 하나의 재질로 이루어진 시료의 경우에는 초점의 위치를 변화시킴으로 깊이 정보를 알 수 있었다. 하지만 Bump나 ITO glass와 같이 두 개 이상의 재질로 이루어진 시료나 레이저 가공된 웨이퍼와 같이 외부요인으로 인하여 손상된 시료의 경우에는, 레이저의 반사량이 달라 깊이가 틀리게 측정될 수 있다. 이러한 경우, 정확한 깊이 정보를 측정하기 위해서는 원자현미경을 사용하여야 한다.

원자현미경은  $200 \times 0.01 \mu\text{m}^2$  크기의 시료영상을 얻는데 90분이라는 긴 시간이 걸렸다. 공초점현미경에 비해 측정시간은 길지만, 분해능은 보다 정확하게 측정할 수 있었다. 하지만 같은 깊이의 두 가지 이상 재질로 구성되어 있는 시료를 측정할 경우, 원자현미경으로는 평면의 영상 밖에 얻을 수 없을 것이다. 이 경우에는 공초점현미경으로 측정하는 것이 정확한 재질의 분포를 측정할 수 있다.

#### 후기

이 논문은 산업자원부의 경남지역중점산업기술 개발사업에 의하여 지원되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. T. V. Higgins, "Microscopes probe the

imperceptible," Laser Focus World, Vol. 31, No. 3, pp. 89-95, 1995.

2. T. Wilson, ed., "Confocal Microscopy," Academic Press, London, 1990.

3. S. Kimura and C. Munakata, "Three-dimensional optical transfer function for the fluorescent scanning optical microscope with a slit," Appl. Opt, Vol. 29, No. 7, pp. 1004-1007, 1990.

4. 이진서, 유석진, 조정석, 권남익, 반도체 레이저를 이용한 scanning confocal microscope," 응용물리, 제 9권, 제4호, pp. 440-443, 1996.

5. 유석진, 김수철, 이진서, 권남익, ? 분할 photodiode를 이용한 scanning confocal microscope," 한국광학회지, 제 8권, 제2호, pp. 165-168, 1997.

6. 김경신, 권남익, 마이켈슨 간섭계형 현미경의 특성 연구, ? 한국광학회지 제 10권, 제5호, pp. 369-372, 1999.

7. 김종배, 류광현, 박두성, 노정은, 권남익, 광섬유의 직접 구동에 의한 공초점현미경, 한국광학회지, 제 14권 제1호, pp. 80-84, 2003.

8. T. Wilson, "Optical Sectioning in Confocal Fluorescent Microscopes," J. Microsc, Vol. 154, pp 143-156, 1989.

9. Khaled Karrai, Ingo Tiemann, "Interfacial shear force microscopy," Physical Review B, Vol. 62, no. 19, pp. 13174-13181, 2000.

10. Robert D. Grober, Jason Acimovic, "Fundamental limits to force detection using quartz tuning forks," Rev. Sci. Instrum, pp. 2776-2780, 2000.

11. A. Kramer, J. M. Segura, "A cryogenic scanning near-field optical microscope with shear-force gapwidth control," Rev. Sci. Instrum, Vol. 73, No. 8, 2002.

12. Ch. Adelman, J. Hetzler, "Experiments on the depolarization near-field scanning optical microscope," Appl. Phys. Lett, Vol. 74, No. 2, pp. 179-181, 1999.