

## 수정 진동자를 이용한 근접장광학계 (Near-Field Scanning Optical Microscope) 제작 및 특성연구

윤선현

전남대학교 물리학과

(1999년 5월 6일 받음, 1999년 7월 30일 수정본 받음)

근접장광학계 (Near-Field Scanning Optical Microscope : NSOM) 의 표본과 팁의 거리 유지를 위해 소리굽쇠모양의 수정발진자 (tuning fork type quartz crystal unit)의 한쪽 다리에 광섬유를 고정시키고 광섬유 팁을 수정발진자와 같이 진동하게 만들어 사용하였다. 수정 진동자는 광섬유 팁이 시료에 얼마나 가까이 갔느냐에 따라 진폭이 바뀌게 되고 이 변화를 일반적인 방법인 레이저 빛에 의하여 읽어내는 것이 아니라 바로 수정 발진자의 임피던스 변화에 따른 전압 변화를 측정하여 알아냈다. 팁이 표면에 접근함에 따라 수정발진자 진동폭의 변화와 팁을 통해 들어오는 빛의 세기 변화 등을 측정하여 계의 감도를 조사하였다.

### I. 서 론

Pohl등이 가시광선 영역에서 근접장광학 (Near-Field Scanning Optical Microscope: NSOM)을 연구하기 시작한 이후 빛을 이용하여 빛의 파장보다 더 작은 분해능을 갖는 장치를 개발하기 위해 많은 노력을 해오고 있다.<sup>[1,2]</sup> 빛을 이용하면서도 빛의 파장보다 작은 분해능을 갖게 되는 근본적 이유는 빛의 파장보다 아주 작은 구멍을 통해 그 구멍 속으로 들어오거나 나오는 빛의 양을 측정하기 때문에 가능하다. 그런데 빛이 파장보다 작은 구멍을 통과하면 회절현상에 의하여 구멍에서 조금만 멀어져도 공간적으로 크게 발산해 버리므로 빛의 파장보다 작은 분해능을 얻기 위해서는 회절현상에 의해 빛이 발산하기 전에 정보를 얻어내야 한다. 이를 위해서는 구멍과 시료간의 거리를 빛의 파장보다 훨씬 작게 유지해야 한다. 이렇게 구멍과 시료와의 거리를 빛의 파장보다 작게 일정하게 유지하면서 XY 평면에서 움직이면 XY 변화에 따른 시료의 공간적 높이와 이 때 검출되는 빛의 세기에 따라 각각 XY에 따른 표면의 높이와 광학적 특성을 얻을 수 있게 된다.

이러한 근접장광학을 위해서는 크게 두 가지 기술이 필요한데 하나는 빛의 파장보다 작은 크기의 구멍을 만드는 일로 이는 광섬유를 가늘게 늘이거나 화학적 에칭을 이용하여 얻을 수 있다.<sup>[2,3]</sup> 다음은 가늘게 만든 광섬유를 시료와 일정한 거리를 유지하도록 만드는 기술로 광섬유를 진동시키고 진동의 폭이 시료와 가까워짐에 따라 진폭이 변화되는 것을 이용하는 방법이 일반적으로 사용된다. 이 때에 진폭의 변화를 알아내는 방법으로 광섬유에 다른 레이저를 비추어 반사되거나 회절되어 가는 빛의 변화를 관찰하는 방법과 광섬유에 진동을 가하는 PZT의 임피던스가 광섬유 진동폭의 변화에 따라 변화되는 방법을 사용하기도 한다.<sup>[2,4]</sup> 또 최근에는 지름이 빛의 파장보다 작은 도체구나 유전체구를 빛의 세기가 센 곳에 머무르게 만들고 이때 반사되는 빛을 측정하여 시료의 정보를 얻

어내기도 한다.<sup>[5]</sup>

광섬유 팁을 만들고 이렇게 만들어진 팁을 시료와 일정한 거리를 유지할 수 있게 하는 기술 이외에도 광섬유팁을 액체 시료에 넣기도 하고 온도가 낮게 하여 실험하기도 하고 사용하는 빛의 편광이나 파장을 바꾸어 가며 실험하기도 하고 시간 의존 항을 보기도 하고 비선형 현상을 보기도 하는 등 거시적으로 할 수 있는 모든 실험을 파장보다 더 작은 크기에서 모두 재현하며 그 때 새롭게 발생하는 물리적 문제들을 연구하고 있다.<sup>[2,6]</sup>

본 연구는 광섬유팁과 시료와의 거리를 일정하게 유지할 수 있는 방법 중 수정 발진자를 사용하는 방법에 중점을 두어 제작 및 특성 평가를 하였다. 소리굽쇠 모양을 한 수정발진자는 공명주파수의 전압을 가하면 진동하는데 광섬유팁을 진동하는 한쪽 굽쇠에 붙였다.<sup>[7]</sup> 광섬유팁과 시료표면사이의 작용력에 의한 진폭변화는 곧바로 수정발진자의 임피던스에 영향을 주고 이 변화를 읽어내어 광섬유팁과 시료와의 거리를 조절하는데 사용한다. 이는 다른 방법과는 달리 광섬유팁의 진폭변화를 얻기 위해 따로 다른 빛을 비출 필요가 없고 다른 빛이 측정하려는 광신호에 영향을 미치지 않아 편리하고 효과적이다. 또 광섬유팁은 화학적 에칭방법으로 만든 것을 사용하였다.<sup>[8,9]</sup>

이 글에는 먼저 수정진동자에 광섬유팁을 붙여서 광섬유팁이 진동하게 하고 미세한 진폭의 변화를 읽어낼 수 있는 회로 구성과 제작된 회로로 광섬유팁의 파장에 따른 진폭 변화 등이 2장에 나타나 있다. 또 수정발진자에 부착된 광섬유팁이 실제로 얼마나 진동하며 시료 표면과 가까워짐에 따라 광섬유팁을 통해 들어오는 빛의 세기가 어떻게 변하는지를 3장에 실었다. 또 3장에서는 제작된 근접장광학 측정 장비를 간단하게 시험해 보기 위해 표면이 거친 면에 평행광이 입사할 때 표면의 높이 변화와 이 때 표면을 통해 투과되는 빛의 세기 분포를 각각 측정하여 나타내었다. 끝으로 4장 결론 부분에서는 전체 내용을 요약하고 응용부분을 다루었다.

## II. 수정발진자를 이용한 떨개 제작

근접장 광학에 사용될 탐은 녹여 늘인후 화학적 에칭으로 제작<sup>18,19</sup>되었으며 이 탐사침이 표면과 일정한 거리를 유지하기 위한 떨개장치 케환계를 설계 제작하였다. 떨개가 미세하게 떨도록 수정발진자를 사용하였다. 수정발진자(CFS-308)는 전자 시계에 사용되는 길이가 5 mm 정도 되는 소리굽쇠 모양으로 제품으로 나올 때는 소자로 사용 할 수 있도록 길이 8 mm, 직경 3 mm의 원통으로 감싸져 있어 이 원통을 벗겨내고 그 속에 있는 발진자를 사용했다. 수정진자의 고유진동수는 2의 15승인 32.768 kHz로 이는 나중에 탐사침이 진동하는 주파수와 거의 같은 값이 된다. 이 수정발진자의 한쪽에 탐사침을 붙여서 실제 사용할 수 있는 모양으로 만들 수정발진자가 그림 1에 나타나 있다.

이렇게 만든 탐사침이 진동하면서 표면에 가까워지면 수정진동자의 진동 폭이 변하게 되고 이 변화된 값에 대한 정보를 알아내어 탐사침과 표면과의 거리를 조절한다. 흔히 사용되는 방법은 탐사침에 레이저빔을 비추어 진동자의 진폭변화를 레이저 빛의 공간적 세기분포 변화로 읽어내는 방법이 있다. 그러나 이 연구에서는 진동자가 포함된 회로에서 진동자에 부착된 광섬유 탐침과 시료표면사이의 작용력 변화에 의한 진폭변화가 진동자의 임피던스에 변화를 줌으로써 진동자의 전기적 특성이 변화되게 하여, 이 변화를 전기적 신호로 읽어내어 탐사침과 표면과의 거리를 알아내는 정보를 사용하였다. 자세한 내용은 그림 2에 나타나 있는데 함수발생기에서 나온 신호가 진동자와 저항에 직렬연결되어 진동자의 전기적 특성변화는 곧바로 저항 R, 양단의 전위차로 변화된다. 이 신호는 물론 아주 미세하여 주변과의 잡음으로부터 보호되며 증폭시키기 위해 이 단 증폭단의 입력부에 고유진동수영역만을 통과하는 밴드패스 필터를 장치하였다. 또 이렇게 증폭된 교류신호의 진폭에 대한 정보를 얻기 위해 제곱평균근 값으로 전환시켜주는 소자(AD536)를 사용하였다. 그런 다음 제곱평균근 값과 외부에서 정한 값과의 차이를 AD524를 이용하여 차동 증폭시켜 적분형태의 케환을 가하는 회로를 만들어 이 출력값이 결국 탐사침과 시료와의 거리를 조절하는 PZT 구동기의 전압을 결정하게 했다. 또 이 과정에서 AD 변환기를 통해 이 값들이 컴퓨터에 입력되어 시료의 입체적 표면분포에 대한 정보를 제공한다.

또 함수발생기에서 만든 교류전압의 파장에 따른 진동자의 진폭특성을 알아보기 위해 시료와의 접촉 없이 32 kHz 근처에

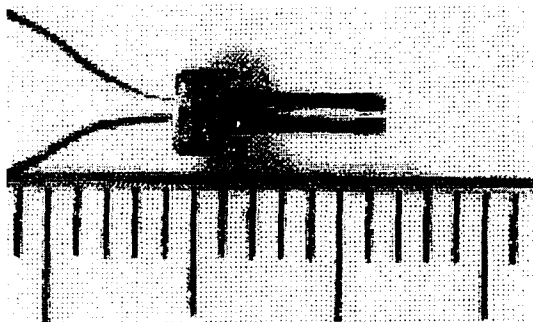


그림 1. 수정진동자 (CFS-308): 자의 작은 눈금은 1 mm를 나타냄.

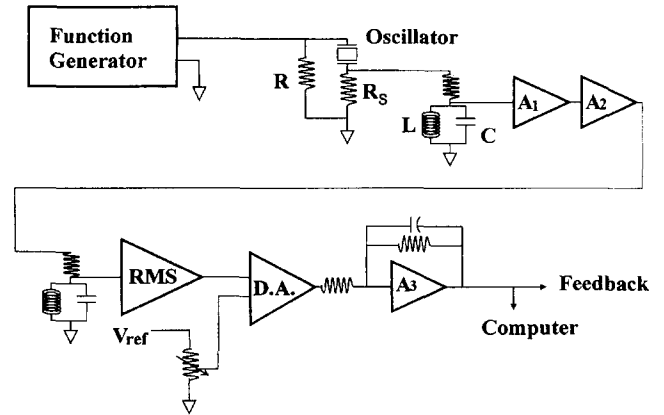


그림 2. 수정진동자의 진폭을 측정해 시료표면과 광섬유탐의 거리를 일정하게 유지시키는 회로의 계략도. (A1, A2, A3 : Op Amp, RMS : AD536, D.A. : AD524, L : 코일, C : 콘덴서).

서 파장에 따른 진동자의 진폭특성을 측정하여 그림 3에 나타내었다. 광섬유 탐침이 부착되기 전의 수정진동자의 특성은 상용화된 소자(CFS-308: Citizen)로 Q 값이 보통 90,000이 되어 32.768 kHz에서 강한 공명을 나타낸다. 그러나 본 실험에서는 진동자가 다른 전기소자와 회로를 구성하고 있고 이 회로 전체의 Q 값을 보기 때문에 차이를 나타낸다. 더 나아가 일단 CFS-308 소자의 뚜껑을 제거하고 광섬유를 붙이기 위해 사용된 순간 접착제들의 흔적이 남아 고유진동수도 32.09 kHz로 바뀌었고 Q 값은 크게 떨어져 1800 정도가 되었다. 탐사침은 수정진동자 중간부분에 탐사침이 약 0.5 cm 정도 들출되게 극소량의 순간 접착제를 사용하여 고정시키는데 탐사침의 미세한 부착부위위치변화와 사용된 접착제 양들에 따라 공명주파수는 조금씩 바뀌었고 Q값도 탐사침이 부착되지 전보다 더 작아졌다. 그림 3에서 B로 표시된 것은 탐사침이 부착되지 않은 진동자의 주파수 특성이고 A와 C는 각각 다른 탐사침에 대한 결과이다. 2개의 탐사침에 대하여 실험해 본 결과 공명주파수는 32.02 kHz와 32.19 kHz로 측정되었으며 Q 값은 170, 180으로 측정되었다. 다른 시료들도 공명주파수는 대략

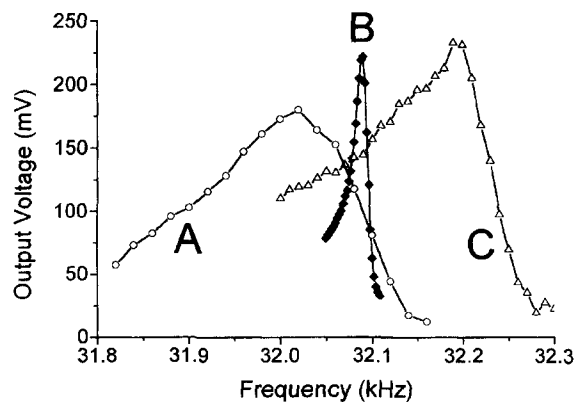


그림 3. 수정진동자에 걸어주는 교류전압의 주파수에 따라 진동자에 흐르는 전류에 비례하는 전압의 크기 변화 B는 수정진동자에 광섬유 탐침이 부착되지 않을 때의 특성이며 A, C는 각각 다른 광섬유 탐침을 부착했을 때의 결과이다.

32 kHz 영역을 벗어나지 않고 Q값은 200 이내에 머무른다.

### III. 떨개 계환계의 특성평가

#### 3.1. 이차원 스캔장치 제작

탐사침이 부착된 진동자는 세축 방향으로 독립적으로 움직일 수 있는 마운트에 고정되었고 X,Y축 마운트는 PI사의 PZT(P-172.00)로 길이를 조절하였고 탐사침과 표면사이의 간격을 조절하는 Z축 방향의 길이를 조절은 PI사의 PZT(P-173.00)로 하여 각각 전압에 따른 길이 변화는 X,Y 축은 20  $\mu\text{m}/1000\text{V}$  이고 Z축은 40  $\mu\text{m}/1000\text{V}$ 이다. 물론 PZT 전압은 -150배 증폭해주는 PZT 구동기를 사용하였다. XY축은 컴퓨터의 DA 변환기 출력을 이용하였는데 미세조절을 가능하게 하기 위해 DA변환기출력을 0~10배 가변 증폭할 수 있는 증폭기에 연결한 다음 PZT 구동기에 연결하여 X,Y축 길이를 조절하였다. 또 진동자 제어회로에서 얻어진 전압을 Z축 계환에 사용하였고 이를 다시 컴퓨터에서 읽어 DA로 보내 XY축 정보에 따른 표면의 높이를 얻을 수 있게 프로그램 하였다.

XY축의 분해능은 DA변환기의 최소 분해능에 의하여 결정될 것 같으나 실제로는 이 값이 이득을 조절할 수 있는 증폭기를 지나 PZT구동기에 입력되므로 회로의 자체 잡음 한계 내에서 임의로 작게 조절할 수 있다. 다만 12비트 DA변환기를 사용하였기 때문에 전체 구간을 4096×4096개의 영역으로 나누어 조사할 수 있다는 제한 때문에 전체 스캔영역이 결정되면 최소 분해능은 그 길이의 1/4096로 결정된다. 그러나 실제 결과를 얻을 때는 시간상의 이유나 필요에 의하여 훨씬 적은 수의 데이터를 얻기 때문에 큰 문제가 되지 않았다.

#### 3.2. 수정진동자의 진폭측정

다음은 탐사침이 진동한다고 할 때 진동 폭이 얼마나 되는지를 측정해 보았다. 이는 분해능과 관련되는 문제로 진동 폭

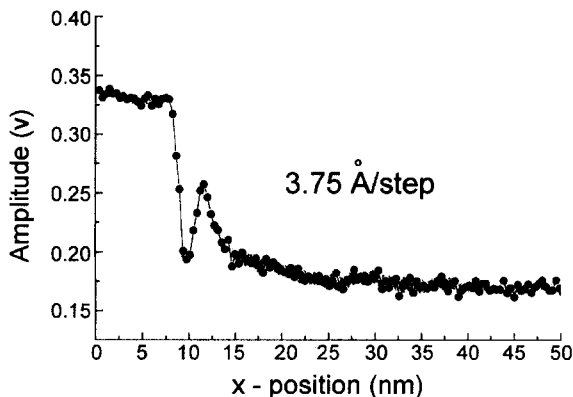


그림 4. 광섬유 팁을 진동자의 진동변위와 나란하고 광섬유팁의 길이 방향에 수직인 X 축으로 전진시키며 X 축에 수직인 벽과 접촉하게 하며 진동자의 임피던스 변화에 따른 전압을 측정함. 대략 10 nm 근처에서 벽과 접촉하여 진동자의 임피던스가 크게 변함. 대략 4단계 접근하는 동안 진폭이 크게 변하는 것으로 보아 진동자의 예민한 진폭은 약 15Å으로 추정됨

이 클 경우 이 값이 분해능에 제약을 줄 수 있다. 진동자에 붙어있는 탐사침의 끝이 얼마나 진동하는지를 알아보기 위해서 탐사침의 길이 방향에 수직인 X축으로 탐사침을 움직여 가면서 탐사침이 벽에 부딪힐 때까지의 진동자 진폭의 특성을 조사하였다. 그림 4에 그 결과가 나와있는데 DA변환기 한 간격이 PZT를 3.75Å 전진시키게 하여 실험한 결과이다. 진동자에 가해진 교류전압의 첨두치가 20.0 mV 일 때 진동자의 진폭이 크게 떨어지는 영역이 대략 4단계정도인 것으로 보아 약 15Å 정도임을 알 수 있다. 물론 이 값은 진동자에 가해주는 교류전압의 첨두치가 줄면 같이 줄어들음을 확인 할 수 있었고 실제 실험은 수 mV로 행하므로 이보다 작은 진폭으로 움직인다고 할 수 있다.

#### 3.3. 감쇠파를 이용한 z-축 분해능 측정

다음은 프리즘에 레이저광을 입사시키고 입사한 광이 전반사되어 나가게 한 다음 evanescent wave가 나오는 곳으로 탐사침을 Z축 방향 진행시켜가며 이때 광섬유를 통해 들어오는 빛의 세기를 측정하였다. 이론적으로는  $\exp(-2\beta z)$  분포를 보이고  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n_p^2 \sin^2 \theta_i - 1}$ 로 주어진다. 여기서  $\lambda$ 는 빛의 진공중 파장이고  $n_p$ 는 프리즘의 굴절률,  $\theta_i$ 는 프리즘에서의 입사각에 해당한다. BK7의 경우 굴절률이 1.52로 전반사각은 41도이고 이 각도에서  $\beta$ 는 0이 되고 입사각이 커짐에 따라 증가한다.  $\beta$  값은 이론적으로는 완벽한 평면에서 다시 평평한 판을 통해 다시 진행된다는 가정에서 구해 보면 프리즘에서 입사각이 46도 이면 약 5.4가 나오나 실험적으로는 그림 5에서 초기 0.3  $\mu\text{m}$  내 값들을 이용하여 최소 제곱근사를 해보면 4.9정도의 값이 나온다. 물론 각을 더 줄여 44도로 만들면 빛의 세기가 감쇠해 가는 정도가 더 줄어들음을 알 수 있다. 그림 5에서 왼쪽눈금은 빛의 세기를 나타내는 것으로 굵은 선은 46도일 때 가는 실선은 44도 일 때의 결과를 각각 나타낸다. 이

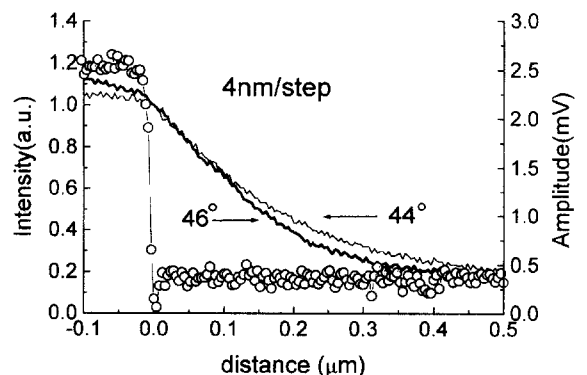


그림 5. Z=0인 평면에 프리즘을 놓고 프리즘에서 모두 전반사 되게 만들며 프리즘에서 입사각이 44도 일 때 Z=0인 평면에서 광섬유 팁이 떨어져 가며 광섬유 팁을 통해 들어오는 광량세기(왼쪽눈금)를 가는 실선으로 나타냄. 원으로 표시된 자료는 진동자의 진폭에 비례하는 전압(오른쪽 눈금)으로 Z=0인 평면에서 급격하게 줄어들음을 알 수 있음. 굵은 실선은 프리즘 내의 입사각이 46도일 때 Z에 따른 광량의 세기변화(왼쪽 눈금)로 44도 일 때 보다 더 급격하게 감쇠함.

결과들은 탐사침을 z축으로 한 간격이 4 nm가 되게 접근시키면서 진동자의 진폭에 따른 교류전압의 제공근의 변화와 광섬유 팁을 통해 들어오는 빛의 양의 변화를 나타낸 것이다. 광량의 변화는 지수적으로 감소하나 진동폭의 변화율보다는 훨씬 작음을 알 수 있다. 실제 진동자의 진폭 변화는 약 15 nm 내에서 급격하게 변화됨을 알 수 있다. 이는 진동자 진폭의 변화가 그만큼 표면과의 거리에 민감하게 반응함을 알려준다. 물론 계환을 시키면서 탐사침과 표면과의 거리를 일정하게 유지할 때는 이와 같이 4 nm 간격으로 조절되는 것이 아니라 아날로그 방식으로 조절되기 때문에 15 nm 영역 내에서 임의의 간격으로 일정하게 유지시킬 수 있다. 또 15 nm 영역에서 길이가 다소 변한다 하더라도 광량의 변화는 크게 변화되지 않음을 확인한 실험이라 할 수 있다.

광섬유 팁이 표면에서 1 μm 이상 멀어질 경우는 광섬유 끝의 뾰족한 끝부분 뿐만 아니라 광섬유 절단면 전체를 통해 흡수되는 빛의 효과가 더 지배적이 되기도 하고 주변의 영향을 받아 초기의 감쇠 상수가 먼 거리에서도 계속 유지되는 않았다. 이는 팁의 끝부분을 금속 코팅한 다음 뾰족한 부분에만 구멍을 내어 빛을 흡수하도록 만들지 못한 것에도 이유가 있

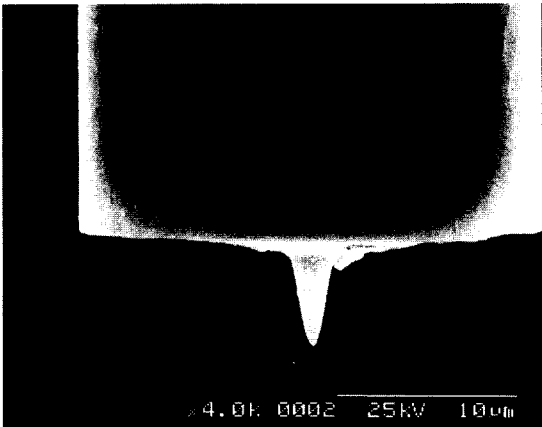


그림 6. 광섬유 팁의 모양.

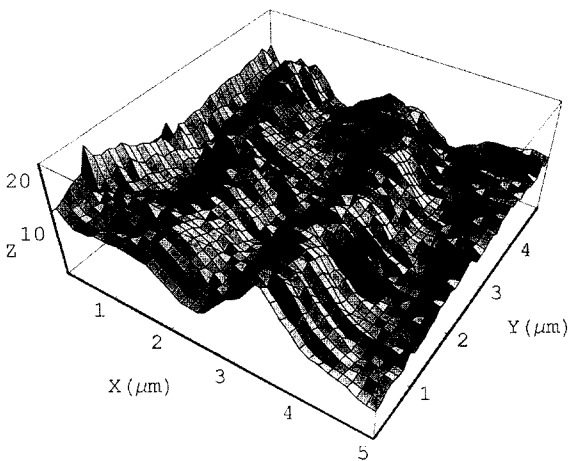


그림 7. 회절격자 간격이 2 μm인 회절격자를 투과하고 나온 빛의 격자 바로 앞에서의 세기분포. Z 축은 광량의 세기를 의미한다.

으며 이러한 제약조건은 XY 스캔시 탐사침의 끝부분 크기와 모양에 따라 분해능이 줄어들 수 있음을 의미한다. 광섬유 팁의 사진이 그림 6에 나타나 있다. 또 XY 평면에서의 분해능을 보기 위해 이미 알고있는 투과형 회절격자에 빛을 입사시켜 투과되어 나오는 광량을 격자 표면에서 측정하였다. 격자의 간격이 2 μm인 회절발의 격자간격이 잘 나타나 있다.

### 3.4. 표면의 높이 변화와 투과되는 광량측정

근접장광학으로 보는 상은 시료와 광섬유팁 사이의 거리에 따라 많은 차이를 나타내기 때문에 실제 상을 유추한다는 것이 쉽지가 않다.<sup>[10]</sup> 시료에서부터 광섬유팁까지의 거리를 고의적으로 일정한 간격씩 떨어지게 하여 상을 얻은 실험들도 행해지고 있다.<sup>[11]</sup> 그런데 이 경우에도 광섬유팁과 시료와의 거리가 10 nm 이내 일 경우는 표면에서의 광분포를 큰 변화 없이 보여주며 100 nm 이상 떨어진 경우는 많은 차이를 보여준다. 우리 실험의 경우 그림 5에서 알 수 있듯이 시료와의 거리가 10 nm 이내로 유지 할 수 있어 표면과 광섬유팁 사이의 거리 때문에 표면에서의 광분포가 크게 변화되었다고 할 수 없다. 시료의 예는 흔히 사용되는 3M 테이프의 거친 표면을 광섬유팁이 따라 움직이면서 테이프의 표면의 입체 영상과 그 표면을 따라가며 빛의 세기 분포가 어떻게 바뀌는가를 측정하

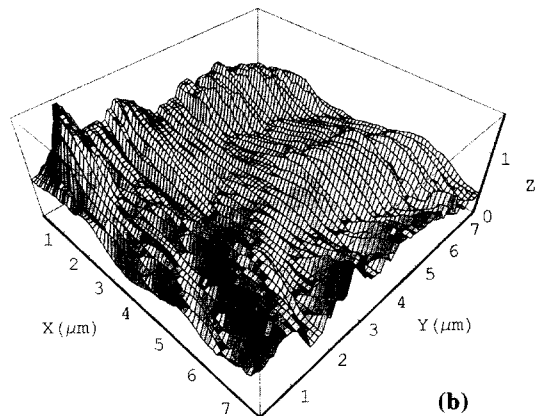
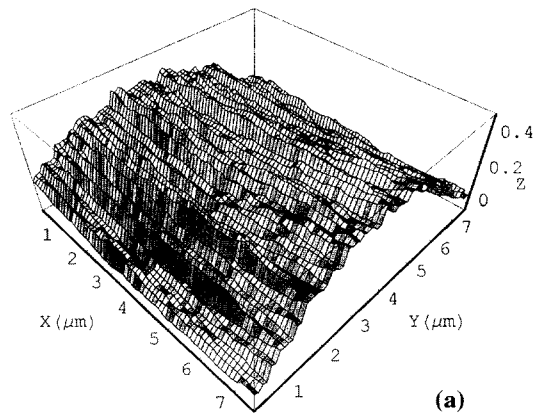


그림 8. a) 3M 테이프의 표면 높낮이. Z축의 단위는 ×1 μm)이다. b) 광섬유팁이 a)의 표면을 따라 움직일 때 표면에서 광섬유 팁을 통해 검출되는 광량의 세기 분포 Z축은 광량의 세기를 나타낸다.

었다. 물론 이러한 실험은 앞으로 광소자들의 특성을 평가하기 위한 예비 실험으로 행해진 실험이다.

#### IV. 요약 및 결론

근접장광학 자체의 기술은 분해능을 높이기 위해 파장보다 작은 영역에서 오는 신호를 얻어내기 위한 것으로 생각할 수 있다. 본 연구에서는 광섬유팁을 떼개하기 위한 한 방법으로 소리굽쇠모양을 한 수정진동자의 진동을 이용하였다. 이러한 방법의 장점은 수정진동자의 진폭변화를 직접 전기적 신호로 쉽게 변환할 수 있다는 데 있다.

이 방법은 광섬유팁의 진동을 측정하기 위해 다른 레이저를 사용하고 광섬유팁에 의해 회절되거나 반사되어진 빛의 세기를 측정하는 것보다 더 쉽게 미세한 변화를 감지할 수 있게 한다.

전자시계에 사용되는 진동자에 광섬유팁을 붙이고 진동자의 진폭변화를 측정할 수 있는 장치를 설계 제작하였다. 분해능을 높이기 위해서는 실제 진동하고 있는 수정진동자의 진폭을 작게 하여야 하고 이 경우는 측정되는 전기적 신호변화 또한 미세하여 이를 측정하기 위해 잡음과 섞여있는 전기적 신호를 분리해내기 위해 진동자의 진동 주파수만 증폭해주는 2단 증폭기를 만들고 증폭된 교류신호의 진폭을 측정하여 탐사침과 시료와의 거리를 일정하게 유지하는 궤환회로의 입력으로 사용하였다. 진동자의 진폭을 측정하기 위해 탐사침이 부착된 진동자를 진동자의 진동방향과 수직하게 벽에 접근해 가면서 진동자의 진폭변화에 따른 임피던스 변화를 측정하였다. 진동자의 진폭은 진동자에 걸어진 교류전압의 주파수와 진폭에 의존한다. 측정된 진동자의 진폭은 진동자에 가해주는 전압의 크기가 20 mV 일 때 15 Å 이내 임을 실험적으로 관측할 수 있었다. 또 진동자에 가해주는 전압을 더 작게 할 수도 있어 일반적으로 진폭을 수 Å 이내로 조절 할 수 있다.

또 탐사침을 XY 방향으로서는 XY 진행기에 의하여 3 cm 이내에서 임의로 조작이 가능하고 PZT에 의하여 30 μm 이동시킬 수 있었다. XY 분해능은 컴퓨터에서 DA변환기를 통하여 신호를 보낼 때 DA변환기의 분해능이 일차적으로 한계를 지으나 DA변환기에서 나온 신호를 이득을 0에서 1까지 임의로 조절할 수 있는 증폭기를 설치하여 DA변환기 분해능이 문제되지 않도록 하였다. 다만 일정한 거리를 스캔할 때 전구간을 DA변환기의 비트수의 제약에 따른 4096구간까지밖에 나눌 수 없음이 분해능의 한계가 된다. 그런데 실제 스캔에서는 시간 상이나 다른 이유로 이렇게 많은 구간으로 나누지 않기 때문에 큰 문제가 되지 않는다.

빛을 프리즘에서 전반사시키고 감쇠파에 팁을 접근시키면서 빛의 세기 분포를 측정하였다. 감쇠상수  $\beta$  는 입사각  $\theta$  값에 따라 변하는데 특히 전반사각에서는 0이 되고 각이 커짐에 따라 증가하여 44도와 46도인 경우 최소제곱근에 의한 근사로 구하였을 때 실험적 오차한계 내에서 이론치를 설명할 수 있

음을 알았다. 물론 광섬유 팁이 표면에서 수 μm 이상 멀어질 경우는 광섬유끝의 뾰족한 끝부분 뿐만 아니라 광섬유 절단면 전체를 통해 흡수되는 빛의 효과가 더 지배적이 되어 이론치와 잘 들어맞지는 않았으나 근접장광학에서는 항상 표면과 수십 nm 이내에서만 실험하므로 문제가 되지 않는다.

다음은 표면이 거친 면에 빛이 투과될 때 거친 정도와 바로 그 면에서 10 nm 이내로 유지된 상태의 빛의 세기 분포를 관찰하였다. 물론 광섬유팁을 금속코팅하여 작은 구멍을 내면 훨씬 더 분해능이 좋은 상을 얻을 수 있겠으나 이 연구에서는 목적이 수정진동자를 이용한 근접장광학계의 제작에 있었으므로 일단은 준비된 광섬유팁으로 얻어낼 수 있는 최대한의 정보를 얻어내도록 하였다. 실제 표면의 높낮이 변화와 이 표면을 지나온 빛의 세기 분포를 동시에 얻어낼 수 있었다. 물론 빛의 세기 분포는 표면의 높낮이뿐만 아니라 다른 쪽 면에 붙어있는 접착액이나 다른 성질에 의하여서도 변화될 수 있기 때문에 표면 높낮이와 광세기 분포를 일대일로 연결시켜 해석할 수는 없다. 그러나 이 또한 제작된 근접장 광학계를 이용하여 얻어본 상이라는 데 의미가 있다고 하겠다.

이런 실험결과들은 앞으로 광도파로나 광스윗칭 소자, 광신호전달 소자들의 특성을 연구하는데 직접 사용할 예정이다.

#### 감사의 글

광섬유 팁을 제작하여 주신 서울대학교의 박준형님께 감사드린다. 본 연구는 한국학술진흥재단의 신진교수과제 연구지원에 의해 수행되었다.

#### 참고문헌

- [1] D. W. Pohl, W. Denk, and M. Lanz, Appl. Phys. Lett. **40**, 651 (1984).
- [2] M. A. Paesler, and P. J. Moyer, Near-Field Optics: Theory, Instrumentation, and Applications, New York: Wiley-Interscience (1996).
- [3] E. Betzig and J.K. Trautman, Science **257**, 189 (1992).
- [4] Julia W. P. Hsu, M. Lee, and B. S. Deaver, Rev. Sci. Instr. **66**, 3177, (1995).
- [5] T. Sugiura, et all, Opt. Lett. **22**, 1663, (1997).
- [6] D. A. Higgins, D. A. Vanden Bout, J. Kerimo, P.F. Barbara, J. Phys. Chem., **100**, 13794, (1996). Moyer and Kamwer, Appl. Phys. Lett., **68**, 3380 (1996).
- [7] X. Zhu, G. S. Huang, H. T. Zhou and Y. D. Dai, Solid State Comm. **98**, 661 (1996).
- [8] 이상기, 제원호, 새물리 **35**, 700 (1995).
- [9] Togar Pangaribuan, Yamada, Jiang, Ohsawa and Ohtsu, Jpn. J. Appl. Phys., **31**, L1302 (1992).
- [10] A. V. Zvyain, J. D. White, and M. Ohtsu, Opt. Lett. **22**, 955, (1997).
- [11] H. Hatano, Y. Inouye, and S. Kawata, Opt. Lett. **22**, 1532 (1997).

**A study on the feedback control system for near field scanning  
optical microscope based on the tuning fork oscillator**

Sun-Hyun Youn

*Department of physics, Chonnam National University, Kwangju, 500-757, Korea*

(Received May 6, 1999, Revised manuscript received July 30, 1999)

We attached a fiber tip on the branch of a quartz crystal oscillator in order to make a feedback control system for near field optical microscope. The electrical impedance of the quartz crystal oscillator depends on the distance between the surface of the sample and the tip caused by the surface damping. Using this method, we can directly monitor the distance between the sample and the tip without inserting extra beam which might give extra optical noise. We characterize the XY scanning resolution and the amplitude of the vibrating tip and the Z-dependent decay of the evanescent wave.