

## 주사탐침현미경의 탐침신호수감계통의 설계와 특성

리창일, 김위성

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학자, 기술자들은 현실에 튼튼히 발을 붙이고 사회주의건설의 실천이 제기하는 문제들을 연구대상으로 삼고 과학연구사업을 진행하여야 하며 연구성과를 생산에 도입하는 데서 나서는 과학기술적문제들을 책임적으로 풀어야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 492페이지)

주사탐침현미경(SPM)은 측정시편과 탐침사이의 거리를 nm급으로 조종하는 미세이송부와 탐침주사부, 탐침신호측정부, 방진부분으로 되어있다.[1-3] 여기서 기본핵심부분은 시편과 탐침사이의 거리를 변화시키기 위한 미세이송부와 탐침과 시편사이에 작용하는 수nN 이하의 매우 작은 힘을 관측하여 시편의 결면나노구조를 측정하는 탐침신호관측부분이다.

탐침신호관측부분은 탐침과 시편사이에 발생하는 힘에 의하여 탐침이 설치된 변형판(캔티레버)의 극히 미세한 휨변형을 관측하는 기능을 수행한다.

탐침과 시편사이에 작용하는 대단히 작은 호상작용힘은 굴절류방법, 용량검측방법, 압전체저항관측방법, 광학적방법 등 여러 방법으로 관측하고있으며 그중 굴절류방법과 광학적방법(레이자반사법)이 널리 리용되고있다.

레이자반사법은 캔티레버의 뒤면에서 반사되는 레이자빛의 방향변화로부터 캔티레버의 휨변형을 측정하는 방법이다.(그림 1)

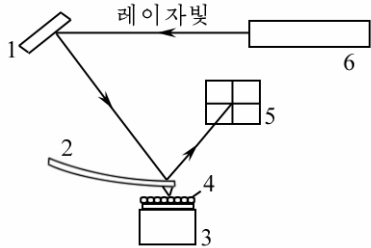


그림 1. 레이자반사법의 원리  
1-반사경, 2-캔티레버, 3-주사기,  
4-시편, 5-PSD, 6-반도체레이자

캔티레버뒤면에서 반사된 레이자빛뭉침은 위치검출소자(PSD)에 떨어지도록 설계되어야 하며 따라서 캔티레버가 변형되면 PSD에 떨어지는 레이자빛점의 위치에서도 변화가 생기게 된다. PSD자체는 수~수십nm까지의 빛점의 변위를 검출할수 있다. 캔티레버의 변위는 일반적으로 0.1nm이하로서 PSD의 검측범위보다 작으므로 그 변위를 증폭하여야 한다. 그 증폭도(확대배수)는 캔티레버로부터 PSD까지의 거리와 캔티레버길이의 비로 주어진다. 이 증폭도를 충분히 크게 하면 우

아래방향에서 0.2nm보다 작은 캔티레버의 변위를 측정할수 있다. 이 방법으로는 가로방향에서 원자급분해능, 세로방향에서 0.01nm의 분해능까지 실현할수 있다.

우리는 2차원적으로 이동하면서 캔티레버에서 반사된 레이자빛의 입사점을 PSD의 감광면에 맞출수 있는 빛수감부이송부를 설계하고 그 특성을 고찰하였다.

먼저 다음과 같은 기술적요구들이 만족되도록 빛수감부이송부를 설계하였다.

첫째로, 빛지레의 원리(그림 2)를 리용하여 PSD분해능이상으로 레이자빛점의 변위를 증폭하여야 한다.

증폭도를 결정하는 기본인자인 빛행로의 길이는 캔티레버반사면에서 PSD까지 빛전파경로의 길이이다.

그림 2에서 보는바와 같이 캔티레버와 PSD까지의 거리를  $L$ , 캔티레버길이를  $z$ , 캔티레버의 변위량을  $\Delta z$ , PSD에서 레이자빛점의 변위량을  $\Delta L$ , 원자힘에 의한 캔티레버의 휨각을  $\theta$  라고 하면  $2\theta = 2\Delta z/z = \Delta L/L$ 이 성립한다. 따라서 빗지레의 증폭결수는  $A_p = \Delta L/\Delta z = 2L/z$ 이다.

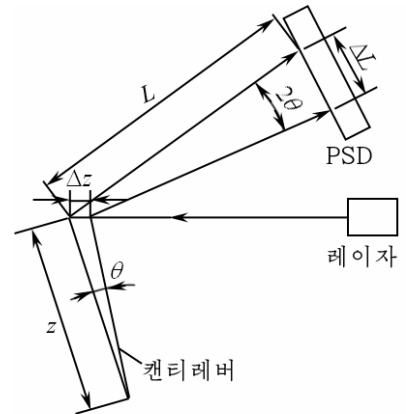


그림 2. 빗지레의 원리도

일반적으로 PSD의 위치분해능은 10nm이다. 한편 SPM이 동작할 때 캔티레버의  $z$ 방향의 변위량은 0.02nm정도이므로 빗지레의 증폭결수는 500이다. 그리고 우리가 리용한 캔티레버의 길이는  $180\mu\text{m}$ 이므로 빗행로의 길이  $L$ 은 45mm 정도로 결정된다. 그러므로 탐침으로부터 PSD까지의 거리를 45mm이상 보장하기 위하여 빗수감부이송부의 기하학적크기를 가로 30mm, 세로 50mm정도로 정하였다. 이송부의 기하학적크기를 크게 할수록 빗지레증폭결수는 커지지만 이에 따라 주사탐침현미경이 구조적으로 커지는것과 같은 여러가지 문제들이 제기되게 된다.

둘째로, 빗수감부이송부의 고유진동수가 탐침의 고유진동수, 시료주사신호진동수와 탈조되어야 하며 캔티레버에서 반사된 빛이 PSD에 최대한 수직으로 입사하여야 한다.

레이자반사법을 리용하는데서 나서는 문제는 레이자빛의 집초면적이 수십  $\mu\text{m}$ 정도로 대단히 작기때문에 PSD의 중심점에 캔티레버의 뒤면에서 반사된 레이자빛이 정확히 쏘여지도록 빗수감요소의 위치를 가능한껏 넓은 범위에서 2차원적으로 변화시키는것과 함께 빗수감부의 2차원이송이 원활하면서도 수감부의 진동을 억제하도록 모든 요소들을 강하게 결합시키는것이다.

우리는 탐침신호를 수감하는 빗수감부이송부의 2차원이송면적을 가능한껏 크게 하면서도 이송부의 모든 요소들을 강하게 결합시키기 위하여 판용수에 의한 원형굴대의 판압축방법을 리용한 이송방식을 선택하였다. 이송면적은 최대로 가로 4cm, 세로 2.5cm 되게 정하고 이송부의 옷부분들과 이송축의 양끝을 강하게 고정시켰다. 주사탐침현미경의 진동을 억제하기 위한 방진부의 고유진동수가 수Hz이고 탐침이 설치된 캔티레버의 고유진동수는 수십kHz인 조건에서 신호대잡음비를 줄이자면 이송부의 고유진동수는 수백Hz로부터 수kHz 범위에 놓이도록 설계하여야 한다.

다음으로 Solidworks응용프로그램에 의한 cosmos해석체계를 리용하여 유한요소법으로 고유진동해석을 진행하였다. 진동모드는 진동수가 가장 낮은 5개의 형태를 선택하였다.

진동형태에 따르는 고유진동주파수와 진동주기는 표와 같다.

표. 진동형태에 따르는 고유진동주파수와 진동주기

진동모드	주파수/Hz	주기/s
1	2 208.0	0.000 452 90
2	3 792.9	0.000 263 65
3	4 128.3	0.000 242 23
4	4 573.5	0.000 218 65
5	6 132.4	0.000 163 07

표에서 보는바와 같이 우리가 설계한 빗신호수감부이송부의 고유진동수는 2kHz로부터 6.2kHz범위에 놓인다.

유한요소법에 의한 빗수감부이송부의 변위계산결과 는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 변위가 가장 심한 부분은 고정부에서 제일 먼 위치에 있는 아래부분의 중심부이다. 따라서 캔티레버를 설치할 때 캔티레버의 뒤면에서 반사되는 레이자빛이 PSD의 변화범위에서 절반 옷부분

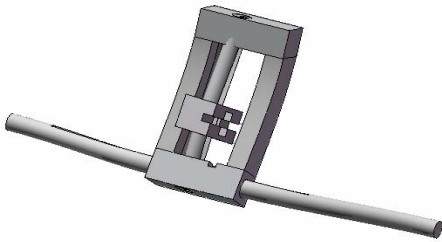


그림 3. 빗수감부이송부의 변위계산결과

으로 향하도록 설정하는것이 시편겉면구조의 화상의 질을 보장하기 위한 한가지 조건으로 된다.

진동특성해석으로부터 탐침신호의 이지러짐효과가 가장 큰 진동형태의 고유진동주파수는 6 132.4Hz이다. 고유진동주파수가 6kHz이상의 범위에 놓이므로 탐침과 시편사이의 신호에 주는 영향이 작으며 보충적으로 이 공진주파수에 대한 잡음려파에 주의를 돌려 진동잡음의 영향을 줄여야 한다.

## 맺는 말

시편의 겉면나노구조를 관측하기 위한 주사탐침현미경의 중요한 요소인 탐침신호수감부의 2차원이동을 위한 빗수감부이송부를 설계하고 유한요소법을 리용하여 그 특성들을 밝혔다.

## 참고 문헌

- [1] Bharat Bhushan; Handbook of Nanotechnology, Springer, 234~241, 2007.
- [2] Chun Li Bai; Scanning Tunneling Microscopy and its Application, Springer, 125~130, 2000.
- [3] Yoshipaka Shingya et al.; Nano Letter, 16, 4, 2213, 2016.

주체106(2017)년 9월 5일 원고접수

## Design and its Property on Probe Signal Sensitive System of SPM

*Ri Chang Il, Kim Wi Song*

We discussed several problems related to the design of system to control for adjusting of the PSD. We also analyzed the vibrational property of system to control for adjusting of the PSD.

Key words: scanning probe microscopy, position sensitive photodetector