

마이크로 캔틸레버 굽힘 측정을 위한 센싱시스템[§]

김 현 철* · 이 상 현**†

* SP 반도체, ** 안동대학교 기계설계공학과

Sensing System for Measuring Deflection of Microcantilever

Hyun Chul Kim* and Sang Heon Lee**†

* SP Semiconductor, ** Dept. of Mechanical Design Engineering, Andong Nat'l Univ

(Received December 19, 2011 ; Revised July 14, 2012 ; Accepted July 16, 2012)

Key Words: Microcantilever(마이크로 캔틸레버), Atomic Force Microscopy(원자현미경), Astigmatism(비점수차)

초록: 원자현미경에서 시편의 높이정보를 얻기 위한 마이크로 캔틸레버의 굽힘은 optical lever 방식이나 간섭원리에 기반한 방식으로 이루어졌으나, 부피와 가격적인 측면에서 이들 방식은 많은 개선의 여지를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이전 방식의 단점을 극복하기 위하여, 간단한 구조로 구현이 가능한 비점 수차방식을 기반으로한 광픽업헤드를 이용하여 마이크로 캔틸레버의 굽힘 측정시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 실험실에서 제작한 원자현미경에 적용하여 그 가능성을 확인하였다.

Abstract: This paper presents a sensing system to measure the deflection of a microcantilever in an atomic force microscope. In general, the optical lever method and interferometry are used for the sensing system; however, their size and cost leaves considerable room for improvement. Therefore, we used an optical pickup head whose operating principle is based on the astigmatism of the commercial optical disk drives. The developed sensing system was applied to a laboratory atomic force microscope, and satisfactory results were obtained.

1. 서 론

원자현미경은 시편의 높이정보를 마이크로캔틸레버의 굽힘 측정을 통해 얻는 방식으로 마이크로 캔틸레버의 굽힘은 시편과의 접촉, 비접촉, 태핑방법에 의해 발생하게 된다. 따라서 마이크로 캔틸레버의 굽힘을 측정하는 기술은 원자현미경에서 주요핵심 기술이라 할 수 있다.

굽힘측정에는 주로 옵티컬 레버(optical lever) 방식⁽¹⁾과 간섭현상에 기초한 방식⁽²⁾이 사용되었는데, 전자는 높은 분해능을 얻기 위해서 광경로가 길어져야하는 단점이 있으며, 후자는 간섭 현상을 일으키기 위해 마이크로캔틸레버에 추가적인 슬릿의 가공이 필요하거나, 간섭계용 광학 요소의 사용으로 비용이 증가하는 단점이 있다. 특히, 기존의 방식에

서는 마이크로캔틸레버의 교체시마다 레이저, 포토다이오드 등의 광학요소의 위치 조정이 필요하기 때문에 이를 위한 위치조정기구의 설치로 인해서 원자현미경의 프로브헤드의 부피가 커지고, 구조가 복잡해지는 문제가 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위한 방법으로 비점수차법에 기초한 광학 디스크드라이브의 광픽업헤드를 사용하는 연구가 Quercioli⁽³⁾와 HWU⁽⁴⁾에 의해 발표되었다. 광픽업헤드는 광학부품들이 일체형으로 구성되어 컴팩트한 구조의 마이크로 캔틸레버의 굽힘 측정시스템을 가지는 원자현미경 제작이 가능하게 되었다. 그러나 앞서 발표된 두 연구에서 사용된 광픽업헤드는 포토다이오드의 광축과 대물렌즈의 광축이 일직선상에 있는 형태로 측정하고자 하는 시편을 직접적으로 볼 수 없기 때문에, 시편의 초기측정 위치 결정에 있어 부가적인 광학현미경이나 장치가 필요한 단점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 광픽업헤드를 이용하여 구조가 컴팩트하며, 동시에 시편의 위치를 직접적으로 확인이 가능한 형태의 굽힘 측정시스템

§ 이 논문은 대한기계학회 2011년도 추계학술대회(2011. 11. 2.-4., EXCO) 발표논문임

† Corresponding Author, shlee@andong.ac.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

을 제안한다. 2장에서는 광픽업헤드에 적용되는 측정원리와 본 논문에서 사용된 광픽업헤드의 특성에 대해서 기술하고, 3장에서는 실제 원자현미경에 적용하여 가능성을 평가하였다.

2. 측정원리 및 시스템

2.1 비점 수차

원통형 렌즈와 같이 수직면과 수평면상의 초점거리가 서로 다른 경우, 상의 흐릿함이 발생하게 되는데, 이를 비점 수차라 한다. 이 원리는 광디스크 드라이브에서 대물렌즈를 통한 미디어 정보획득에 있어, 정확한 포커싱을 위한 센서에 적용되고 있다. Fig. 1은 그 원리를 나타내는데, 미디어에 투사된 빔은 원통형 렌즈를 통과하여 4분할 포토다이오드에 투사된다. 미디어가 대물렌즈의 초점 위치에 있게 되면, Fig. 1(b)와 같이 포토다이오드에는 정원의 형태로 빔이 맺히게 되고, 그렇지 않을 경우 타원형 빔이 맺힌다. 따라서 4분할 포토다이오드의 출력값을 이용하여 빔의 원형도 즉, 미디어가 초점에 맞는지 측정하는 원리이다.

2.2 측정시스템

본 연구에서 측정시스템 구축을 위한 광픽업헤드의 선정은 시편을 직접적으로 확인 가능한 구조인지에 주안점을 두고 진행하였다. 이에 따라 최종적으로 선정된 모델은 Sanyo에서 제작한 SF-HD67로서 현재 Play Station 3에 사용되고 있어 모듈 형태로 쉽게 구할 수 있다.

Fig. 2는 선정된 픽업헤드의 내부 구조로서, 레이저의 광축방향과 대물렌즈의 축방향이 서로 수직으로 이루어져 시편을 직접 확인할 수 있는 구조이다. 그리고 광픽업헤드를 통해 직접 확인되는 시편의 예를 Fig. 2의 우측 상단에 나타내었다.

한편, 광픽업헤드를 센서로 사용하기 위해서는 핀 스프링으로 지지된 대물렌즈를 고정시켜야 하는데, 렌즈 고정시 렌즈의 광축이 레이저 빔의 축에서 어긋나는 경우에는 반사된 레이저 빔이 Fig. 2의 포토다이오드를 벗어날 수 있기 때문에 포토다이오드의 출력값과 Fig. 3(a)의 광픽업헤드의 유전체거울에 맺히는 빔의 형상을 모니터링하면서 대물렌즈를 고정시켰다. 이 때, 유전체거울 상의 빔의 형태가 원형에 가까워질수록 정렬이 잘 이루어졌음을 나타낸다. Fig. 3(b)는 대물렌즈

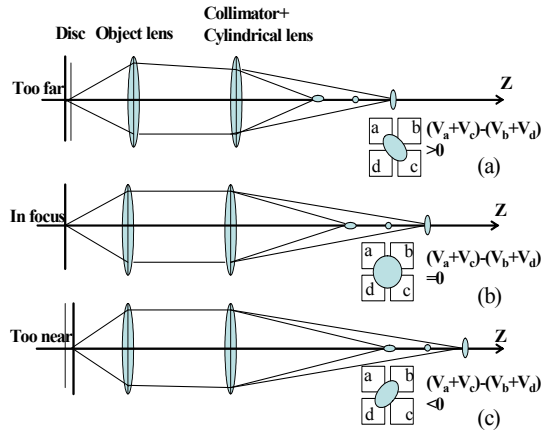


Fig. 1 Principle of astigmatism (a) too far, (b) in focus, (c) too near⁽⁵⁾

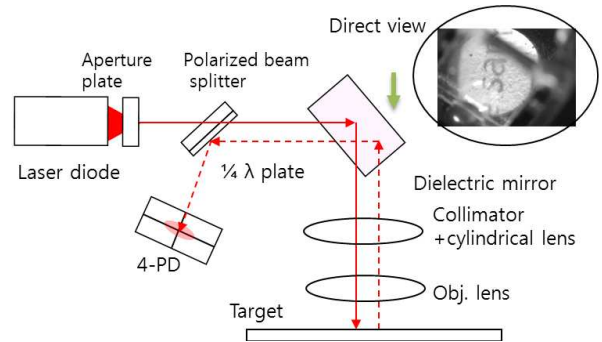


Fig. 2 Optical layout of SF-HD67 and obtained direct view

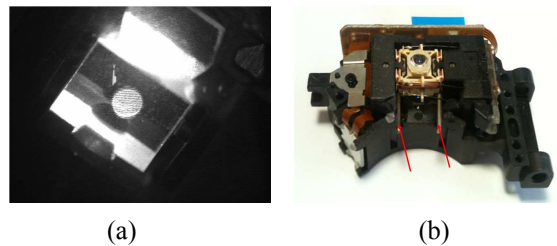


Fig. 3 (a)Beam spot on the dielectric mirror, (b) Fixed object lens of optical pickup head using pins

가 고정된 형태로 이 때 고정은 2개의 핀을 이용하여 이루어졌다.

본 연구에서는 광픽업헤드의 안정적인 구동을 위하여, 광원의 전원을 일정하게 해주는 auto power circuit (APC)를 설계 제작하였으며, 또한 4분할 포토다이오드로부터 나오는 출력값을 연산하는 회로를 제작하였다. Fig. 4는 실제 제작된 드라이브의 회로도로서 APC는 PID제어기로 구현하였다. 이 때 각 제어기의 게인값은 각각 47,

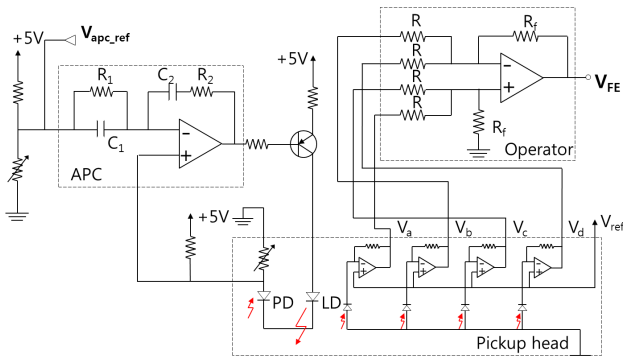


Fig. 4 Circuit of the driver for optical pickup head

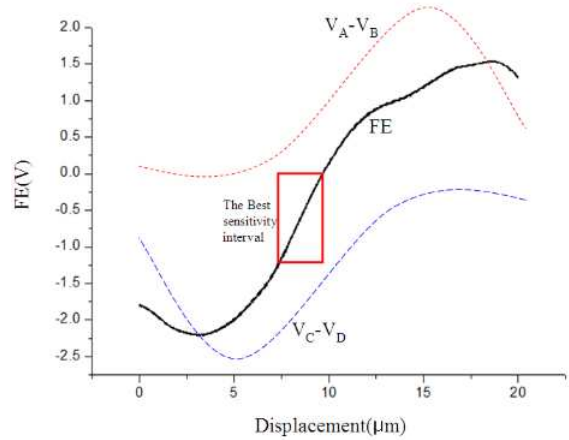


Fig. 6 Focusing error r.w.t. Displacement (S-curve)

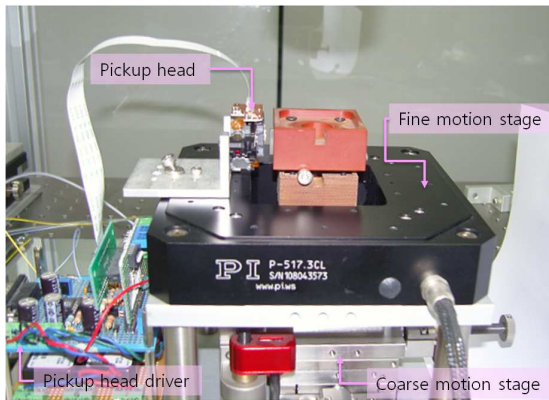


Fig. 5 Experimental setup

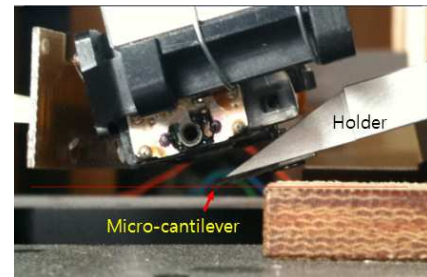


Fig. 7 Optical pickup head and microcantilever holder

4.55, 0.0047로 설정하였다. 4분할 포토다이오드에서 나오는 전류출력은 광픽업헤드 자체에 내장된 회로에 의해서 전압으로 변환되기 때문에 별도의 변환기는 제작하지 않았다.

제작된 시스템의 성능 확인을 위해 1자유도 변위 측정실험을 수행하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 5와 같이 나노스테이지(P-517.3CL, PI, Germany)를 이용하여 변위에 따른 출력값을 측정하는 형태로 이루어 졌으며, 이 장치는 AFM 프로브헤드를 추가하여 AFM으로의 적용실험에서도 사용되었다. Fig. 6은 실험결과를 나타내는데, 연산을 통해 얻어지는 Focus error(FE)신호가 문헌에서⁽⁵⁾ 제시한 바와 같이 S곡선의 형태로 나타남이 확인되었다. FE신호는 약 10 μ m구간에서 변위에 대해 선형적인 출력을 나타내는 것으로 확인되었는데, 이 구간을 굽힘 측정을 위한 유효구간으로 사용할 수 있지만, 더욱 높은 선형성을 얻기 위해 Fig. 6에서 박스로 표시된 구간을 유효구간으로 한정하여 사용하였다. 이 구간의 길이는 2.5 μ m로서 원자현미경에서 수직방향으로의 캔틸레버의

굽힘 측정에 충분히 적용 가능한 수치이다.

3. AFM으로의 적용 및 실험

제작된 마이크로 캔틸레버 굽힘측정 시스템의 AFM으로의 적용가능성을 확인하기 위해 Fig. 5에 나타난 실험 장치를 이용하여 나노구조물의 스캐닝을 실시하였다. Fig. 7은 광픽업헤드가 적용된 프로브헤드로서 마이크로캔틸레버, 홀더, 광픽업헤드의 모습을 확인할 수 있다. 여기서 마이크로 캔틸레버 홀더는 원활한 스캐닝을 위하여 15°의 각도로 기울어져 있으며, 광픽업헤드 대물렌즈의 초점거리가 3.05mm이므로 픽업헤드와의 간섭을 피하면서 초점거리내로 근접할 수 있도록 설계하였다. 마이크로 캔틸레버의 길이는 40 μ m 정도로 사진상으로는 확인이 어렵지만, 화살표의 끝단에 위치한다.

제작된 시스템을 이용하여 표준시편을 측정하였는데, 이 때 사용된 시편은 TGX11(MikroMasch, Estonia)로 2 μ m의 높이와 10 μ m의 피치를 가지는

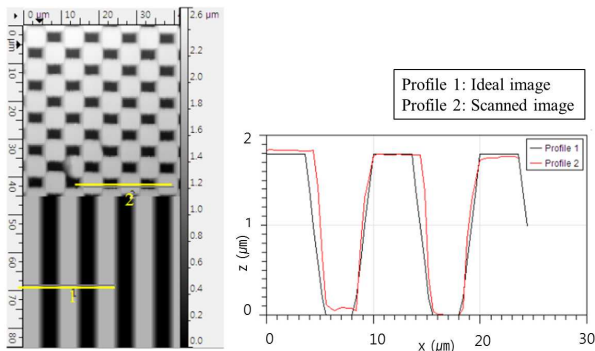


Fig. 8 Experimental results(2 μ m height, 10 μ m pitch)

사각 격자 형태이다. 이미지 스캐닝모드는 캔틸레버의 굽힘을 일정하게 유지하는 일정 힘(constant force)모드로 진행하였다. 따라서 토포그래피(topography) 정보는 오차보정을 위한 z축 스캐너의 이동량으로 측정되었다. Fig. 8은 시편을 측정된 결과로 왼쪽 두개 이미지는 토포그래피(topography) 정보로 상단부는 시편을 스캔한 결과이며, 하단부는 결과 비교를 위해 임의로 생성시킨 토포그래피(topography)이다. 오른쪽 그래프는 왼쪽의 토포그래피(topography)에서 1, 2로 표시된 부분의 단면정보를 나타낸다. 두 단면정보를 비교해 보면, 측정값이 기준치에 비해 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 스캐너의 좌표계와 시편의 좌표계가 일치되지 않고 기울어진 상태에서 스캐닝한 결과로 인한 것으로 분석된다. 이러한 분석 결과는 사각 격자의 높이값은 일정하나 x축으로 갈수록 z축값이 일정한 기울기로 감소하는 단면 정보를 통해서도 확인된다. 이러한 문제는 원자현미경 자체의 보정이나 이미지의 후처리 작업을 통해 해결될 것으로 기대되며, 이러한 실험 결과를 바탕으로 개발된 센싱 시스템이 원자현미경에 적용가능함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 비점수차법을 기초로 한 광픽업헤드를 사용하여 마이크로캔틸레버의 굽힘 측정을 위한 센싱시스템을 개발하였다. 이 시스템은 광학요소들이 일체화된 하나의 부품을 사용하여 센싱시스템의 구조를 콤팩트하게 만들 수 있어,

향후 콤팩트한 구조의 프로브헤드 개발을 통해 멀티 프로브 형태의 원자현미경 개발도 가능할 것으로 기대된다. 그리고 이전의 유사 연구와 달리, 시편을 직접 볼 수 있는 구조로 시편의 위치 확인을 위한 추가적인 기구없이 이미징을 할 수 있는 장점이 있다.

개발된 시스템은 3차원 스캔 실험을 통해 원자현미경에 적용 가능한 것으로 확인되었다. 그러나, 마이크로캔틸레버의 굽힘만이 측정 가능하여 래터럴(lateral) 방향 스캔시 발생하는 비틀림 측정이 불가능한 점과 센서 출력이 정량화되지 못하여 일정 높이(constant height) 모드에는 적용할 수 없는 점은 향후 연구를 통해 개선되어야 할 필요가 있다. 이를 개선할 시, 콤팩트한 구조로 기존 원자현미경에 적용되는 센싱시스템의 모든 기능을 구현 가능케 할 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2011학년도 안동대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) U.S. Patent, 5,440,920, 1995, Scanning Force Microscope with Beam Tracking Lens.
- (2) Shusteff, M., Burg, T.P. and Manalis, S. R., 2006, "Measuring Boltzmann's Constant with a Low-Cost Atomic Force Microscope: An Undergraduate Experiment," *Am. J. Phys.* 74, 10, pp.873-879.
- (3) Quercioli, F., Tiribilli, B., Ascoli, C., Baschieri, P. and Frediani, C., 1999, "Monitoring of an Atomic Force Microscope Cantilever with a Compact Disk Pickup," *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 70, pp. 3620-3624.
- (4) Hwu, E.-T., Huang, K.-Y., Hung, S.-K. and Hwang, I.-S., 2006, "Measurement of Cantilever Displacement Using a Compact Disk/Digital Versatile Disk Pickup Head," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.45, pp.2368-2371.
- (5) Lee, S.H. and Jung, K. S., 2008, "Precision Displacement Measurement Using Astigmatism," *Trans. of the KSPE*, Vol. 25, No. 7, pp. 87-94.