

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2010.34.1.73

광픽업 스캔 장치를 이용한 미소 구조물의 표면 측정[§]

김재현* · 박정열* · 이승엽*†

* 서강대학교 기계공학과

Surface Measurement of Microstructures Using Optical Pick-up Based Scanner

JaeHyun Kim*, Jungyul Park* and Seung-Yop Lee*†

* Department of Mechanical Engineering, Sogang University

(Received September 16, 2009 ; Revised November 30, 2009 ; Accepted November 30, 2009)

Key Words : Microstructures(미소구조물), Optical Pick-up(광 픽업), Optical Scanner(광학 스캐너), Surface Profiler(표면 분석기), Auto Focus(자동 초점), Astigmatic Lens(비점수차 렌즈)

초록: MEMS 기술이 발전함에 따라 MEMS 공정으로 제작된 미소 구조물들의 검사 및 특성 분석이 매우 중요한 문제로 떠오르고 있다. 그러나 주사 전자현미경(SEM)이나 원자현미경(AFM) 그리고 기계적 표면측정장치 등은 가격적인 측면에서나 방법적인 측면에서 많은 단점을 안고 있다. 본 논문에서는 DVD 광 픽업 장치를 이용하여 미소구조물을 높이를 측정하였다. 미소구조물 시편에서 반사된 빛의 강도를 측정하여 시편의 영상을 만들어냈고 미소구조물의 높이는 포토다이오드에서 측정된 포커스에러신호(FES)을 통해 구할 수 있었다. 제시된 광 픽업 스캐너는 기존 측정 장치와 비교하여 저렴한 비용으로 정밀한 측정이 가능함을 보여주었고, 기존의 기술을 대체할 수 있는 시스템으로 사용될 수 있을 것이다.

Abstract: The issue of inspection and characterization of microstructures has emerged as a major consideration in design, fabrication, and detection of MEMS devices. However, the conventional measurement techniques, including scanning electron microscopy (SEM) imaging, atomic force microscopy (AFM) scanning, and mechanical surface profiler, require often destructive process or may be difficult to measure with a wafer scale. In this paper, we characterize the surface profiles of microstructures using an optical scanner based on a DVD pick-up module. Scanning images of the microstructures are successfully generated using the intensity of reflected light from different depths of the surface profiles, based on the focus error signal (FES) from photodiodes. It is shown that the proposed optical scanner can be used as an alternative measurement system with high performance and low cost, compared to conventional measurement techniques.

1. 서 론

MEMS 기술이 발전함에 따라 MEMS 공정으로 제작된 여러 Bio 장치와 미세 구조물들 그리고 세포(cell)과 단백질(protein)과 같은 생체분자(Bio molecule)의 특성 분석은 매우 중요한 문제로 떠오르고 있다. 현재의 상용화된 대부분의 장비(AFM, SEM etc)는 가격적인 측면에서나 방법적인 측면에서 많은 단점을 안고 있다. 대표적인 예로서 AFM(atomic force microscopy)과 SEM(scanning electron microscope)을 들

수 있다. 우선 AFM의 경우 매우 고가의 장비로 탐침(probe)을 사용하여 측정하기 때문에 탐침이 닿지 않는 틈을 갖는 복잡한 형태의 미세 구조물의 경우에는 정확한 표면 측정이 어렵고, 측정 과정에서 탐침에 의한 구조물의 손상이 발생 할 수 있다. 반면 SEM의 경우에는 측정되는 시편에 전도성막(conductive film)을 증착(coating)해야 정확한 상을 얻을 수 있다. 하지만 전도성막을 입히는 과정에서 잔류응력에 의한 미세구조물의 뒤틀림이나 굽힘과 같은 변형의 문제가 발생할 수 있고 이로 인한 시편의 손상을 가져올 수 있다는 점이 단점으로 지적되고 있다.⁽¹⁾ 본 논문에서는 기존의 측정 기술이 갖는 이러한 단점을 보완할 수 있도록 CD와 DVD의 상용화된 광디스크 드라이브에서 사용되는 자동초점 기

§ 이 논문은 2009년도 바이오공학부분 춘계학술대회(2009. 5. 21-22, BEXCO) 발표논문임

† Corresponding Author, sylee@sogang.ac.kr

능을 구현하는 광 픽업 장치를 이용하여 미세구조물들의 표면 특성을 분석한다. 고가의 기존 장비들과 다르게 상용화된 광 픽업(optical pick-up) 기술을 사용함으로써 제작 단가를 낮출 수 있고 레이저(laser)를 사용한 측정이므로 측정되는 시편의 변형이나 손상과 같은 문제가 발생하지 않는다. 또한 선형이나 회전 모터와 연결된 선반(stage)을 사용하여 빠른 측정이 가능하다. CD 및 DVD 광픽업을 이용하여 고가의 형광 바이오 스캔 장치가 최근에 연구^(2,3) 및 상용화되었는데 본 연구는 유사한 DVD 광픽업 장치를 이용하여 미세구조물의 표면 높이를 분석하고자 한다.

2. 광픽업 스캐너

2.1 광학 스캐너와 포커스 에러 신호(FES) 원리

Fig. 1에서는 본 연구에서 제안된 DVD 광 픽업을 이용한 광학 스캐너의 개념도를 보여준다.⁽²⁾ 650nm의 적색 레이저다이오드(LD)와 532nm의 녹색 레이저다이오드가 사용되며 정밀한 x-y 선형 스테이지가 최소 1μm의 분해능으로 제어할 수 있도록 되어 있다. 레이저다이오드에서 나오는 레이저는 다이크로익 필터(dichroic filter)에서 반사되어 스테이지 위의 분석 시편으로 입사되게 되고 다시 시편에서 반사되어 오는 레이저 신호는 다이크로익 필터를 통과하여 광전자 증배관(PMT: photomultiplier)에 의해 검출되어지며 시편이 스캔되는 동안 광전자 증배관에서 검출되는 신호는 연결된 컴퓨터에서 수집되어 눈으로 확인할 수 있도록 2D 이미지로 만들어 준다^(2,3). 이와 함께 시편에서 반사 되는 레이저는 비점수차 렌즈(astigmatic lens)를 거쳐 4 분할 PD (photodiode)에 초점이 맞추어 진다.

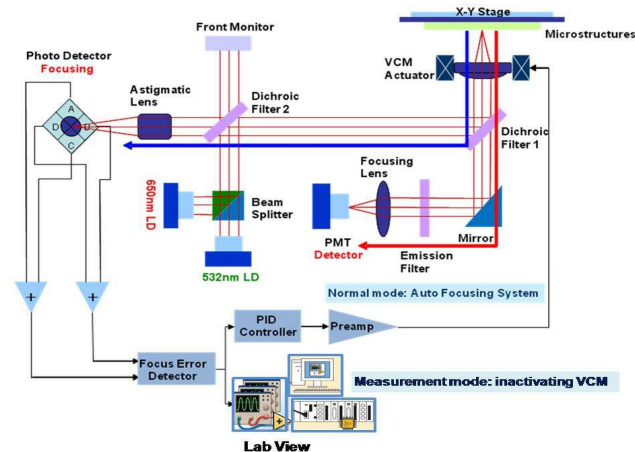


Fig. 1 Optical path of scanning system

포커스오차신호(focus error signal: FES)는 PD의 나누어진 4개의 영역에 입사되는 빛의 세기에 의하여 계산된다.^(4,5) Fig. 2는 4분할 PD에 의해서 자동초점이 이루어지는 원리를 보여준다. FES는 초점이 맞추어진 상태에서는 일정한 전압 값을 나타내지만 초점이 벗어난 상태에서는 벗어난 거리 Δz 만큼의 에러 신호가 발생한다. FES 신호($e_F(\Delta z)$)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$e_F(\Delta z) = (V_A(\Delta z) + V_C(\Delta z)) - (V_B(\Delta z) + V_D(\Delta z))$$

여기에서 V_A, V_B, V_C, V_D 는 각각 PD의 분할된 A-D로부터 나오는 전압이다. 위의 수식에서 $e_F(\Delta z)$ 는 초점에서 벗어난 거리에 대한 함수이므로 전압 값을 측정한다면 역으로 초점에서 벗어난 거리인 Δz 값을 계산할 수 있다.

일반적으로 광학 측정 장치의 이론적인 공간 분해능은 사용되는 레이저의 파장(λ)과 대물 렌즈의 개구수(numerical aperture, NA)와 관련되어 Rayleigh 방정식에 의해 $0.61\lambda/NA$ 로 나타 나타낼 수 있다. 본 실험에서 사용되는 DVD에 사용되는 적색 레이저의 파장이 650nm이며 개구수는 0.64이므로 이론적인 분해능은 619.53nm로 계산된다. 또한 405nm 레이저와 NA=0.85인 렌즈를 사용하는 블루레이(Blu-ray) 광픽업의 경우에는 이론적 분해능이 290.65nm까지도 가능해진다.

3. 미세구조물의 제작과 실험

3.1 미세구조물의 제작

미세구조물은 일반적인 MEMS 기술을 사용하여

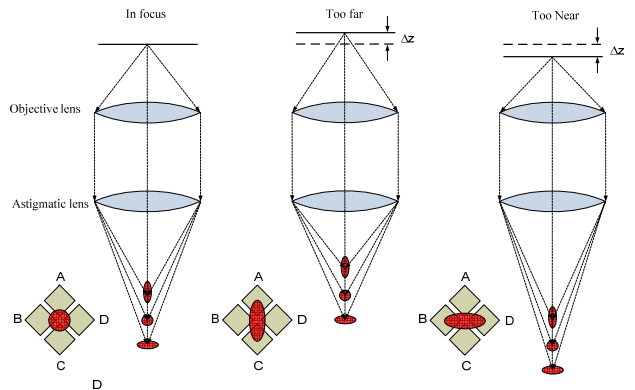


Fig. 2 Auto-focusing principle of the astigmatic method

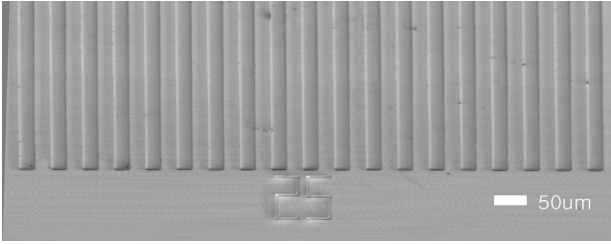


Fig. 3 Topology pattern of fabricated structure

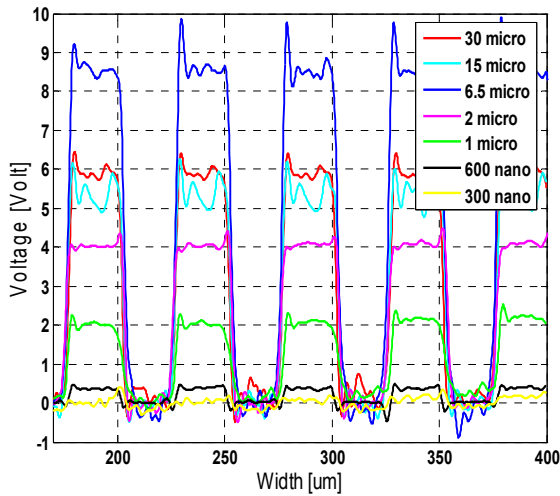


Fig. 4 Measurement of the focus error signal from PD

제작하였으며 각 미세구조물은 300nm, 600nm, 1μm, 2μm, 6.5μm, 15μm, 30μm 의 서로 다른 높이를 갖도록 웨이퍼(wafer)를 건식식각(dry etching)하여 제작 하였다.

3.2 미세구조물의 높이 측정 실험

서로 다른 높이의 미세구조물이 제작되어 7 개의 4 인치 웨이퍼를 스테이지에 올려놓고 동일한 PMT 게인과 LD Power 로 측정하였다. Fig. 3 은 스캔한 2D 이미지로 1μm 의 최소 공간분해능(spatial resolution)을 갖는다. 하지만 이러한 2D 이미지는 미세구조물의 높이 정보를 포함하고 있지 않기 때문에 FES 를 측정함으로써 이점을 보완하였다. 앞의 수식에서 보면 FES 전압 값은 구조물의 높이에 따라 변화하게 된다는 것을 알 수 있다. 이를 실험적으로 증명한 그래프가 Fig. 4 에 나타나 있다.

미세 구조물의 높이에 따른 FES 의 평균값을 구하고 이를 최소자승법(least square method)를 사용하여 보정한 결과 높이에 따른 전압값을 아래의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$f(x) = 262 \times e^{-0.206x} - 267.8 \times e^{-0.2145x} + 5.8$$

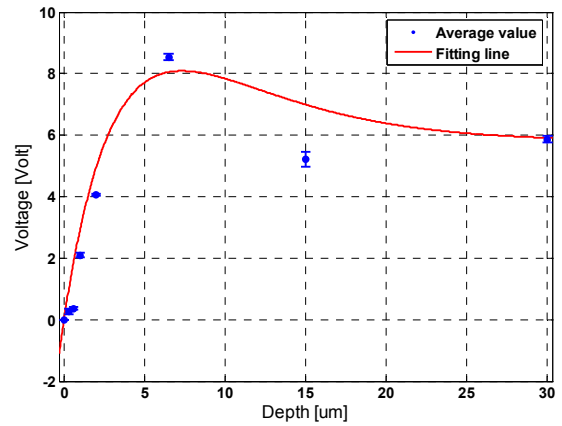


Fig. 5 Curve fitted model for experimental results

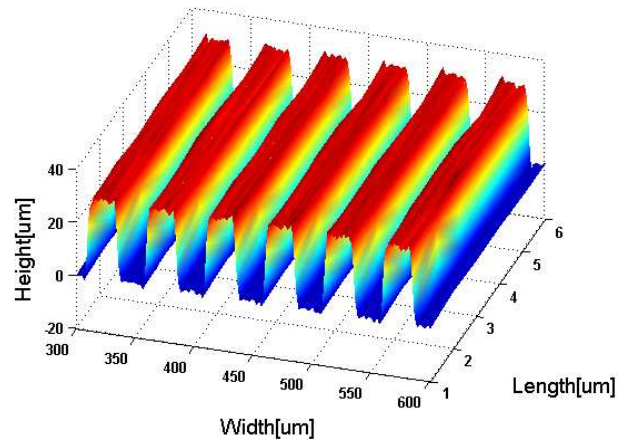


Fig. 6 3D Modeling of Microstructure

Fig. 5 에서와 같이 표면 높이에 따른 출력 전압과의 관계는 대략적으로 5μm 까지는 선형 구간을 나타내므로 비선형 보정 없이 표면 측정 장치로 응용될 수 있다. 5 번 반복 실험을 통해서 출력의 표준 편차는 0.2445 Volt 이며 높이로 환산하면 대략 73.16nm 임을 확인하였다.

3.3 FES 를 사용한 미세구조물의 3 차원 모델링

Fig. 6 에서는 측정된 FES 와 선형 스테이지의 위치정보를 이용하여 미세구조물의 3D 형상을 모델링 하였다. 미세구조물의 SEM 사진 (Fig. 7)과 비교하여 보았을 때 구조물의 실제 높이에 따른 형상을 잘 구현했다고 볼 수 있겠다. 다만 표면에서 반사되는 레이저 빔의 반사량을 가지고 높이 정보를 측정하기 때문에 급격한 높이 변화를 보이는 불연속적인 지점에서는 빛의 산란에 의해서 오차가 발생함을 알 수 있다. 이러한 오차는 사용되는 레이저 빔의 스폿(spot) 크기와 4 분할 PD 의 각 영역에서 오는 빛의 신호를 조정함으로 개선할 수 있다.

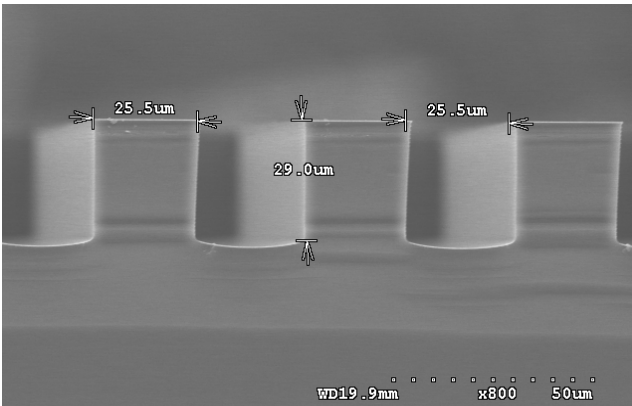


Fig. 7 SEM image of Microstructure

4. 결 론

본 논문에서 제시한 기존 CD 및 DVD 저장장치에 사용되는 비점수차렌즈에 의한 자동초점 방법을 응용하여 다양한 MEMS 및 마이크로 구조물의 높이 측정 기술을 구현하였다. 간단하게 구성할 수 있는 측정 장치로서 기존의 상용화된 MEMS 측정 기술들을 대체할 만한 성능과 가능성을 보여 주었다. 다만 광픽업 장치는 자동초점에 의한 FES 신호가 표면 높이를 나타내므로 광학적으로 최대 측정할 수 있는 높이의 한계가 존재하며 본 실험에서는 $7\mu\text{m}$ 까지 높이 패턴을 측정할 수 있다. 본 연구에서 시도한 광픽업 응용 기술은 기존의 CD 및 DVD의 회전형 매커니즘과 결합하여 빠른 속도로 마이크로

스케일의 변위 측정 및 바이오 패턴 스캔 장치로 쉽게 구현이 가능할 것이다.

후 기

본 논문은 2007 년 서울시 기술이전과제에 의해 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) O'Mahony, C. Hill, M., Brunet, M. R. Duane, R. and Mathewson, A., 2003, "Characterization of Micromechanical Structures using White-Light Interferometry," *Measurement Science & Technology*." Vol. 14, No. 10, pp. 1807~1814
- (2) Kim, K., Lee, S.-Y., Lee, S.H., Kim, S. and Jeong, S. G., 2007, "A New DNA Chip Detection Mechanism using Optical Pick-up Actuator," *Microsystem Technologies*, Vol.13, No.10, pp.1359~1369
- (3) Kim, K., Lee, S.-Y., Kim, S. and Jeong, S. G., 2007, "DNA Microarray Scanner with a DVD Pick-up Head," *Current Applied Physics*, 2007. Vol. 8, No. 6, pp. 687~691.
- (4) Bouwhuis, G., Braat, J., Huijser, A., Pasman, J., van Rosmalen, G and Immink, K. S., 1985, *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol and Boston: Adam Hilger Ltd., 1985.
- (5) Hnilicka, B., Voda, A. and Schroder, H. J., 2005, "Modelling the Characteristics of a Photodetector in a DVD Player," *Sensors and Actuators, A-Physical*, Vol.120, No.2, pp. 494~506.