

주사형 맥스웰 응력 현미경을 이용한 박막의 Nanometer-scale 이미지

Nanometer-scale Imaging in Thin Films by Scanning Maxwell-stress Microscopy

신 훈규, 유 승엽, 권 영수

Hoon-Kyu Shin, Seung-Yeop Yoo, Young-Soo Kwon

동아대학교 전기공학과

Dept. of Electrical Eng., Dong-A University

Abstract

The scanning Maxwell-stress microscopy (SMM) is a dynamic noncontact electric force microscopy that allows simultaneous access to the electrical properties of molecular system such as surface potential, surface charge, dielectric constant and conductivity along with the topography. Here we report our recent results of its application to nanoscopic study of domain structures and electrical functionality in organic thin films prepared by the Langmuir-Blodgett technique.

Key Words(중요용어) : Scanning Maxwell-stress microscope(주사형 맥스웰응력 현미경), Topography(형상), Surface potential(표면전위)

1. 서 론

공학 및 물리·화학 분야에서는 반도체 디바이스를 증가하는 기능을 가진 새로운 디바이스의 개발을 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. 새로운 디바이스의 개발을 위해서는 기능성 박막이 필요하다. 따라서, 박막이 가지는 기능을 이용하려는 원자·분자 level에서의 연구가 확대되고 있으며, 기본적인 메커니즘 규명을 위한 연구도 이루어지고 있다. 특히, 최근에는 표면 평가 및 분석 장치의 하나인 주사형 프로브 현미경(Scanning probe microscope, SPM)의 개발 및 발전으로 인하여 연구가 급속한 진전을 보이고 있다.¹⁻⁴⁾

본 연구에서는 일반적으로 사용되는 주사 간력 현미경(Scanning Force Microscopy, SFM) 중의 하나인 원자 간력 현미경 (Atomic Force Microscopy, AFM) 장치를 응용한 변조-형태 electric-force microscope에 의해 박막의 형상 및 정보를 관찰하였다. 이 SFM은 single electric 변조를 이용하지만, 표면 전위의 동시적인 이미지와 진동력의 고조파 해석을 통해서 유전 상수와 형상(topography)의 정

보를 제공하며, 시료의 electric Maxwell-stress field를 검출하기 위해 개발된 표면 분석 장치로서 주사형 맥스웰응력 현미경(Scanning Maxwell-stress microscopy, SMM)이라 한다.⁵⁻⁷⁾

SMM은 표면 전위, 유전율 등의 전기물성 해석을 위한 nanometer order의 분해능을 가진 SPM이다. SMM은 AFM과 같이 탐침에 작용하는 힘을 검출하는 형태의 SPM이기 때문에 외부 교류 전압에 의해 유기 되는 강제 진동 전기력 측정만으로 표면의 여러 가지의 전기적 정보를 표면 형상과 동시에 검출할 수 있는 특징이 있다. 또한, 환경과 조건의 제약이 적기 때문에 수증과 같은 점성이 높은 상태에서도 동작 가능한 특징이 있다.^{8),9)}

따라서, SMM은 유기·무기박막과 nanometer·level의 분해와 함께 표면의 정전기적(electrostatic)인 모양의 관찰에 쉽도록 개발되었다. 또한, 계-유도 진동의 고조파 해석에 의존한 표면 전위 이미지, 유전 상수와 결합된 정보 및 사용된 박막의 형상을 동시에 측정하는 것이 가능하다. 표면 전위를 비롯한 표면의 전기물성의 관측은 콜로이드, 생체막, 전자 디바이스 등의 구조와 물성에 관한 새로운 정보

를 제공하므로 그 응용 범위는 매우 광범위하다. 최근의 Nano-science, Nano-technology의 흐름 중에서 미시적 영역에서의 표면 전기특성 측정에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.¹⁰⁾

본 연구에서는 박막의 nanometer-scale의 분해능으로 표면의 정전기적인 모양의 관찰에 쉽도록 개발된 SFM의 새로운 형태의 하나인 SMM을 이용하여 박막의 형상과 표면 전위 이미지를 관찰하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 시료

본 연구에서 사용한 시료는 이미다졸기가 있는 poly(N-(2-4-imidazolyl) ethyl)maleimide-alt-1-octadecene (IMI-O) 고분자로서 친수기 부분에 비공유 전자쌍을 포함하고 있기 때문에 제면에서 금속 이온과 리간드 단분자층간의 착체구조의 형성이 가능하다.¹¹⁾

시료는 Si wafer위에 Langmuir-Blodgett(LB)법에 의해, 일정한 표면압에서 누적하였으며, 이 표면압은 고분자가 고체막을 형성하는 압력으로 고분자와 금속 이온 및 이미다졸기능기 리간드와의 상호작용이 일어나는 것을 표면압-면적 곡선, FT-IR 등으로 확인하였다.¹²⁾

2.2. 실험장치

SMM은 AFM 장치에 몇 가지의 측정 장치를 부착하여 간단하게 구성하는 것이 가장 큰 특징이다. 그림 1과 같이 외부적인 전자 회로 구성을 위하여 AFM 콘트롤러와 탐침과 시료간의 전기적 비접촉 방식으로 구성되어 있다. 본 연구에 사용된 AFM은 현재 널리 시판되고 있는 AFM(NanoscopeIII, DI, Santa Babara, CA) 장치를 사용하였다. 이 AFM장치에 교류 전압과 진동력 신호 검출을 위한 Double lock-in Amp와 피에조(Piezo controller)를 부착하였다. 외부 회로에는 발진기, 공진기, 신호 검출 회로로 구성되어 있다. SMM 데이터는 XY 스캔과 동시에 각 지점에서 측정되어진다. 이 결과 SMM의 화상, 표면형상과 표면 전위가 동시에 얻어진다.

SMM의 관찰을 위해서 탄성(스프링)정수 0.58N/m, 공진 주파수 약 30kHz의 시판되는 탐침(Si₃N₄제)을 이용하였으며, 탐침표면에 스퍼터링에 의해 백금박막을 형성시켜 탐침이 도전성을 갖게 하였다. 교류 전압은 주파수 5~10kHz, 진폭 1~4Vpp로 발생하는 탐침의 진동 진폭은 0.5~4nm, 또한 Lock-in Amp(Amplification)의 적분 시간은 10ms이고 스캔 비율은 0.3Hz이하이다.

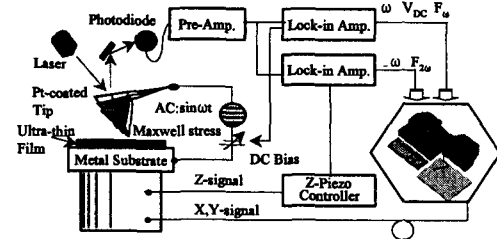


그림 1. SMM의 측정 장치도

Fig. 1. Schematic diagram of the SMM

3. 결과 및 검토

3.1 SMM의 기능과 안정성

표면 형상의 검출은 SPM 기능에 반드시 필요한 부분이며, 특히 비접촉형의 SFM에서는 그 이상의 의미 있는 관찰은 사실상 불가능하다. 그림 2에 SMM에 의한 대기 중에서의 표면 형상의 관찰 결과를 나타내었다. 시료는 Si Wafer위에 반도체 제작 공정에 의해 직사각형의 패턴 형태로 가공된 것이다. 또한 박막의 미세구조는 SMM의 분해능을 확인하는데 이용하였다.

알려진 구조의 시료를 관찰하는 것은 표면분석 장치의 분해능을 검증하는 데 필요하다. 특히, 분해능과 해상도는 시료에서 검출된 화상 정보가 실제의 구조와 어느 정도 대응하는가가 문제이다. 따라서, 패턴 형태의 금속의 표면상을 얻는 것은 탐침과 시료간의 안정성, 검출 능력 등을 확인하는 좋은 방법이다. 그림 2에 의해 SMM의 분해능이 확인되었다.

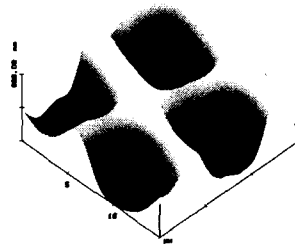


그림 2. 패턴화된 박막의 형상

Fig. 2. Topography of patterned film

3.2 형상과 표면 전위의 관찰

그림 3은 SMM에 의한 대기중에서 표면 형상과 표면 전위의 관찰 결과로서, 그림 3(a), (b)는 하층

액이 순수일 경우에, 그림 3(c), (d)는 하층액이 금속이온(Fe^{3+})일때의 SMM 표면 형상과 표면전위를 보여준다. SMM에 의한 표면 형상을 관찰하면 착체 형성된 시료에는 뾰족한 바늘 형태의 성장이 보였으며, 높이는 약 30~40nm로 폭은 micro-scale 정도로 큰 형태를 가지고 있었다. 또한, 금속 이온의 종류를 변화하면, 성장하는 모양과 크기가 각각 다른 형태를 나타내었으며, 이온의 구별은 되지 않았지만 이온에 의한 표면 성장 구조가 다르며, 성장한 갯수 등의 변화가 발생한 것은 간접적으로 확인되었다. 금속 이온에 의한 성장이 다르게 나타나는 것은 금속 이온과 리간드 단분자막사이에 착체구조가 형성되었다는 것을 생각할 수 있다.

한편, 박막의 표면 형상과 동시에 얻어진 표면 전위는 일정하지 않고 표면 형상에서 micro-scale 정도로 튀어나온 부분이 현저하게 저하한 전위를 나타내었다. 그리고, SMM에 의해 관찰된 표면 전위의 변화도 표면 형상과 같은 위치에서 얻어졌으며, 착체에 의한 구조적인 변화 및 전기적인 변화 등, 물리화학적인 상태를 반영하는 것으로 생각되었다. 그러나 전위가 낮은 부분 이외는 안정한 전위를 나타내었다.

4. 결 론

본 연구는 일반적으로 이용 가능한 AFM을 기초로 한 SMM을 통하여, 1mV보다 더 적은 표면 전위에서 반응하고 약 100nm의 횡분해능을 가지는 마이크로 구조에 대해서도 관찰이 가능하다는 긍정적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 이러한 장치의 장점을 이용하여 실제적으로 제작된 박막 연구에서는, 형상 및 표면 전위의 이미지 조사가 동시에 이루어질 수 있었으며, 성능이 뛰어난 tip/cantilever의 이용으로 고분해능 이미지 등을 얻는 것이 가능하였다.

또한, 주사형 맥스웰 용력 현미경(SMM)는 맥스웰용력의 전장에 대한 비선형성을 직접 측정하는 것이 가능하고, 임피던스의 미소 프로브라고 하는 것이다. 또한 복수 주파수의 중첩과 측정에 따라 표면 전위, 유전을 등 각종 물성의 측정을, 탐침제어의 기능을 독립으로 병행하여 관찰하는 것이 가능하다. 이러한 특징과 더불어 SMM은 금속, 무기, 유기 구별 없이 다양한 표면 전기 현상의 국소관측과 이미지에 응용될 것으로 기대된다.

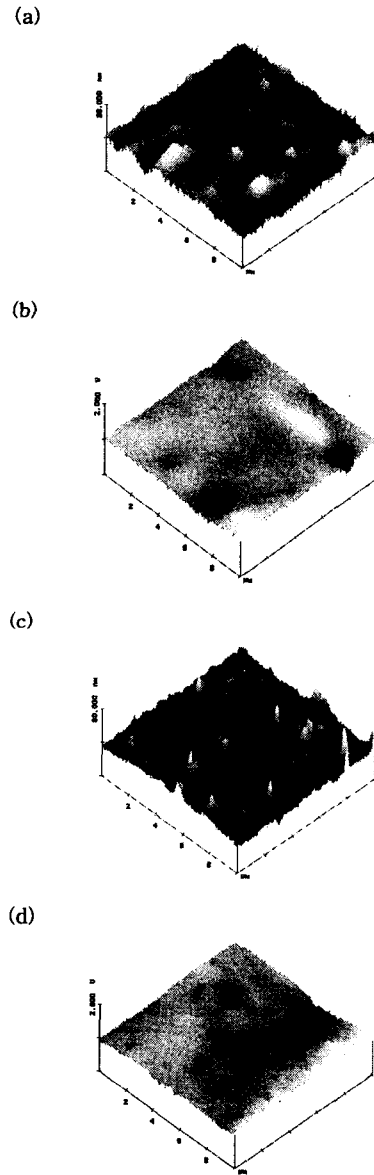


그림 3. 박막의 형상 (a)과 표면전위상 (b) : 순수 박막의 형상 (c)과 표면전위상 (d) : Fe^{3+}
 Fig. 3. Topography (a) and surface potential (b) : pure water
 Topography (c) and surface potential (d) : Fe^{3+}

감사의 글

본 연구는 일본 전자기술총합연구소 Dr. Hiroshi Yokoyama의 도움으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, E. Weibel, *Phys. Rev. Lett.* 49 (1982) 57.
2. G. Binnig, C. Quate, Ch. Gerber, *Phys. Rev. Lett.* 56 (1986) 930.
3. H. Fuchs, W. Schrepp, H. Rohrer, *Surf. Sci.* 181 (1987) 291. ; Marti, H. O. Ribl, B. Drake, T. R. Albrecht, C. F. Quate, P. K. Hansma, *Science* 239 (1988) 50.
4. P. K. Hansma, V. B. Elings, O. Marti, C. E. Bracker, *Science* 242 (1988) 209. ; A .L. Weisenhorn, M, Egger, F. Ohnesorge, S. A. C. Gould, S.-P. Hyen, H. G. Hansma, R. L. Sinsheimer, H. E. Gaub, P. K. Hansma, *Langmuir* 7 (1991) 8.
5. H. Yokoyama, T. Inoue, *Thin Solid Films*, 242 (1994) 33.
6. H. Yokoyama, M.J. Jeffery, T. Inoue, *Jpn. J. Appl. Phys.* 32 (1993) L1845.
7. H. Yokoyama, T. Inoue and J. Itoh, *Appl. Phys. Lett.* 65 (1994) 3143.
8. T. Inoue, H. Yokoyama, *Thin Solid Films*, 243 (1994) 399.
9. T. Inoue, J. Itoh, H. Yokoyama, *Nanotechnology* 8 (1997) A19.
10. J. Fang, C. M. Knobler and H. Yokoyama, *Physica A* 244 (1997) 91. ; J. Fang, M. Dennin, C. M. Knobler, Yu .K. Godovsky, N. N. Makarova and H. Yokoyama, *J. Phys. Chem. B* 101 (1997) 3147.
11. B. J. Lee, G. Choi, Y. S. Kwon, *Thin Solid Films*, 284-285 (1996) 564-567.
12. S. B. Jung, S. Y. Yoo, J. C. Park, Y. S. Kwon, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 316 (1998) 317-320.