

바이몰프 PZT 캔틸레버 특성평가 및 응용연구

채영훈 · 권현규* · 김석삼**†

경북대학교 트라이볼로지연구소, *금오공과대학교 기계공학부, **경북대학교 기계공학부

The Study of Characteristics Evaluation for Bimorph PZT Cantilever and its Application

Young-Hun Chae, Hyun-Kyu Kweon* and Seock-Sam Kim**†

Engineering Tribology Research Institute Kyungpook National University

*Dept. of Mechanical Engineering, Kumoh National University

**Dept. of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

Abstract – The characteristics for bimorph PZT cantilever of laboratory-fabricated have been evaluated experimentally. The deflections of cantilever with PZT are result from a capillary force between a water drop and a tip of cantilever. The output voltage due to deflect cantilever are depend on the tip shape and thickness of cantilever. We applied a bimorph PZT cantilever to oil thickness measurement. This reasonable concept is that the output voltage be caused by different deflected characteristics between oil and surface. Experimental results demonstrated that the high measurement accuracy of the oil film thickness is obtained from the probe.

Keywords – PZT, cantilever, capillary force, oil thickness, tribology.

1. 서 론

최근 MEMS(microelectromechanical systems) 기술의 발전으로 나노기술 및 바이오기술의 응용으로 센서와 액추에이터(actuator)가 개발되고 있다[1-3]. 특히 MEMS와 같이 부품의 크기가 작아질수록 체적력 또는 관성력에 비해 표면력이 상대적으로 크게 되며, 이로 인한 접촉표면에 대한 Micro/Nano tribology관점에서 활발히 연구되고 있다[4-5].

MEMS 표면에 작용하는 힘은 반데르발스힘(van der Waals force), 정전하(electrostatic charge), 모세력(capillary force), 반발력(repulsive force) 등의 합으로 나타낼 수 있다. 특히, 상대운동하는 마이크로 기계(Micro-machine)의 접촉표면에 발생하는 미세파괴(micro-failure) 및 미세결함(micro defect)은 응착현상(stiction)이 그 원인으로 밝혀져, 이러한 힘을 제어하기 위한 박막코팅, 나노윤활 및 Surface texturing에 따른 응착현상이 연구

되고 있다[6-8].

나노스케일의 현상을 연구하기 위하여 널리 이용되고 있는 AFM(Atomic Force Microscopy)장비는 나노 크기의 표면형상을 측정할 수 있어 다양한 분야로 응용이 되고 있다. 특히 나노 및 마이크로 트라이볼로지의 응용을 위하여 AFM 팁 형상 및 재료를 변화시켜 표면력, 마찰력 및 마멸거동을 연구하고 있다[6].

PZT 압전 세라믹 액추에이터는 변위를 목적으로 사용하는 바이몰프형과 힘을 목적으로 하는 적층형으로 개발되고 있으며, 압전세라믹을 이용한 응용분야는 힘/변위등의 감지센서로 많은 분야에 응용되는 신소재이다[9]. 특히 바이몰프형 PZT 압전 세라믹은 전압차에 의해 굽힘 변위를 제어할 수 있으며, 또한 굽힘 변형에 의해 전압차가 발생하는 특성을 가지고 있다[10].

본 연구는 AFM 측정장비의 측정 가능한 높이범위는 약 5 μm 이하 정도의 매우 국한된 표면을 요구하고 있다. 특히 유체표면, 거친 표면 및 오염된 표면 등의 조건에서는 측정범위의 한계를 가지고 있다. 이러한 점을 착안하여 바이몰프형 PZT 압전센서를 캔틸레버의 굽힘

†주저자 · 책임저자 : sskim@knu.ac.kr

변형으로 인한 전압특성 및 캔틸레버 형상에 따라 전압특성을 평가개선하고 그 응용에 대한 기초연구를 수행하고자 한다.

따라서 본 연구는 프로브 개발을 위한 연구의 일부 분으로 바이몰프형 PZT cantilever를 4종 제작하여, 표면력에 따른 현상과 종류에 따른 전압특성을 고찰했다. 또한 개발된 프로브를 이용하여 전압특성에 따른 마이크로 유막두께측정의 가능성을 조사하였다.

2. 실험장치 설계 및 제작

2-1. 바이몰프 PZT의 조성 및 표준특성

본 실험에 사용된 PZT 5A계 세라믹스를 사용하였다. (Pb,Sr)(Zr,Ti)O₃+Nb₂O₅를 Pb의 일부를 Sr로 치환하여 특성을 변화시켜 고주파용 공진자, 압전착화소자, 초음파 진동자 및 압력센서 등에 넓은 용도에 사용된다[1-3]. PZT 캔틸레버에 쓰인 PZT는 115°C에서 분극을 했으며 조성 및 표준 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Composite materials and properties of piezoelectric cantilever for sensor

조성	(Pb,Sr)(Zr,Ti)O ₃ +Nb ₂ O ₅
표준특성	
비유전율(ϵ'_{33})	2000
주파수상수(N)	N_p 2055 Hz·m, N_s 2098 Hz·m
전기기계결합계수(K)	K_p 0.629, K_{31} 0.338, K_t 0.46
압전계수(d, g)	d_{31} 184×10^{-12} m/V, g_{31} 10×10^{-3} Vm/N
기계적 품질계수(Q_m)	77.5
밀도(ρ)	7.7×10^3 kg/m ³

2-2. PZT 캔틸레버의 설계 및 제작

PZT를 입힌 캔틸레버에는 세라믹스 판의 수에 의하여 유니몰프(Unimorph)와 바이몰프로 나눌 수 있다. 유니몰프는 하나의 세라믹스 판을 탄성체에 접착된 구조이고, 바이몰프는 두개의 세라믹 판을 대칭으로 탄성체에 접착된 구조로 되어 있다. 바이몰프 변위 소자는 전계 하에서 길이 방향으로 신축(extension)하는 압전 판을 두장 붙여 놓은 구조이므로 한쪽이 늘어났을 때 다른 쪽은 반대로 줄어들게 하여 굽힘변형을 발생시키는 개념이다. 세라믹스 판을 접착제로 붙이므로 제작이 용이하고, 변위 확대율도 크기 때문에 가장 널리 사용되고 있는 구조이다. PZT 분극방향에 따라 변위와 전압과의 관계는 식(1)과 식(2)에 나타내었다. 여기서 δ 는 바이몰프형 PZT 캔틸레버의 두께이며, l 은 전체길이, d_{31} 은 압전전하계수이다. 서로 다른 아래위를 향하는 시리즈형(Series Connection)일 때 변위량은 식(1)과 같으며, 동일한 방향을 향하는 패러럴형(Parallel Connection)일 때는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다[3].

$$\delta = 2d_{31} \frac{l^2}{l^2} V \tag{1}$$

$$\delta = 4d_{31} \frac{l^2}{l^2} V \tag{2}$$

스프링 강으로 된 두께 게이지(Feeler Gauge, Ashahi)를 이용하여 12×4×0.06 mm (l×w×t) 및 12×4×0.03 mm로 다이싱 소우(Dicing Saw)를 이용해 제작하였다.

본 실험에서 사용된 센서용 PZT의 분극 방향은 두께방향이며 시리즈형으로 제작하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 PZT 압전세라믹의 크기는 5×3×1.16 mm

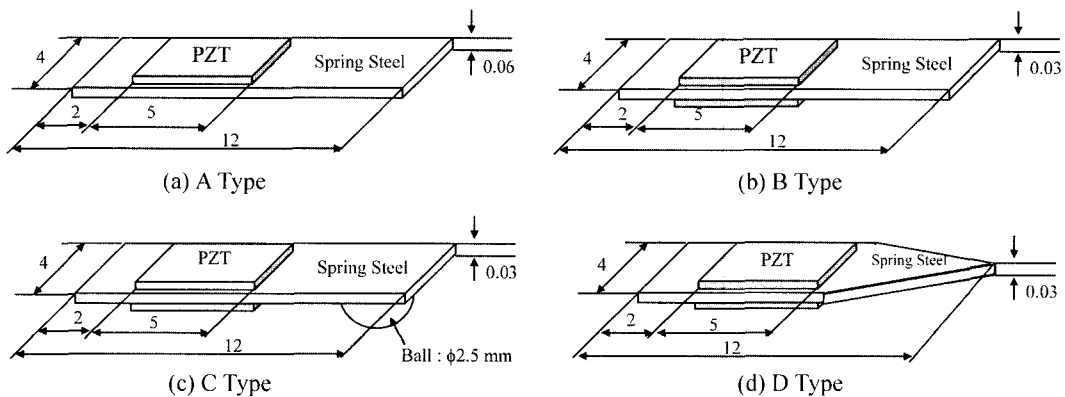


Fig. 1. Schematics of PZT cantilever for (a) Unimorph-normal, (b) Bimorph, (c) Bimorph with ball and (d) Bimorph end sharp [unit : mm].

이며 그 형태에 따라 A형, B형, C형 및 D형으로 4종을 제작하였다.

Fig. 1(a)는 A형으로 유니몰프형 PZT 캔틸레버를 보여주고 있으며, 캔틸레버 두께는 0.06 mm로 제작하였다. Fig. 1(b)는 B형으로 바이몰프형 PZT 캔틸레버를 보여주고 있으며, 캔틸레버 두께는 0.03 mm로 제작하였다. Fig. 1(c)는 C형 바이몰프형 PZT 캔틸레버로 프로브 끝단에 지름 2.5 mm 볼을 장착한 구조이다. Fig. 1(d)는 D형으로 끝단을 날카롭게 제작하였다.

2-3. 실험장치 및 실험방법

본 장치는 제작된 PZT 캔틸레버 특성을 평가하기 위하여 자체 설계한 실험장치를 Fig. 2와 같이 제작하였다. 표면과 캔틸레버 사이에서 발생하는 표면력을 용이하게 측정하기 위하여 Fig. 3과 같이 구성하였다.

Fig. 4는 PZT 캔틸레버의 변위를 검정하기 위하여 레이저 변위기(LC-2400A, Keyence in Japan)를 사용하였다. PZT 캔틸레버에서 발생하는 전압을 증폭하기 위한 AMP(Type 2635, B & K)를 사용하였으며, 오

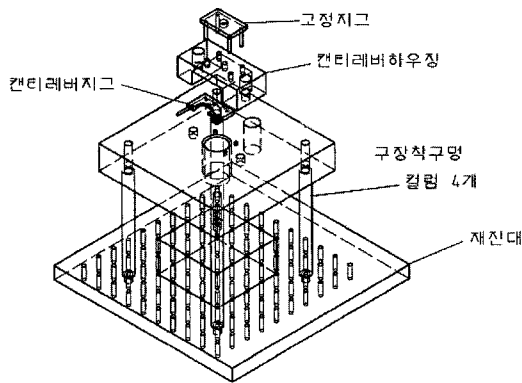


Fig. 2. Layout for tester.

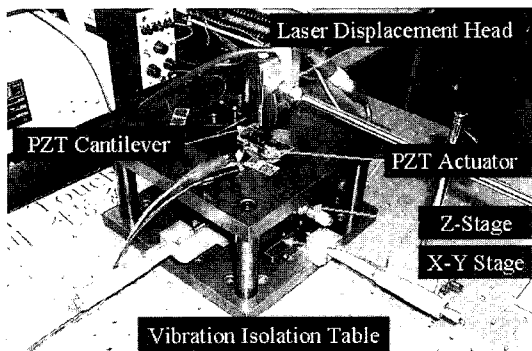


Fig. 3. Photograph for experimental.

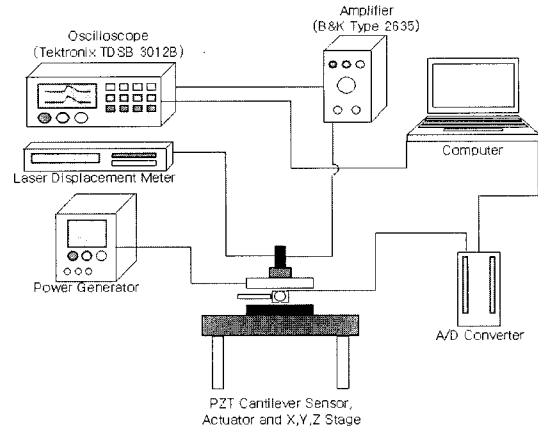


Fig. 4. Schematic diagram of measuring device.

실로 스크وپ(TDSB 3012, Tektronix)로 저장되도록 구성하였다.

본 실험의 측정은 표면력을 실험하기 위하여 캔틸레버의 곡률변형에 따른 전압변화를 측정하였다. 먼저 상대적으로 표면력이 큰 물방울을 이용하여 표면력을 측정하여 PZT 캔틸레버의 전압거동을 관찰하였다. 또한 PZT 캔틸레버의 유용성을 확인하고자 유막에 대한 표면력 신호를 이용하여 마이크로 유막두께 측정 가능성을 실험하였다. 이러한 측정이 가능할 수 있도록 Z-스테이지를 이용하여 캔틸레버와 표면사이를 근접시키고

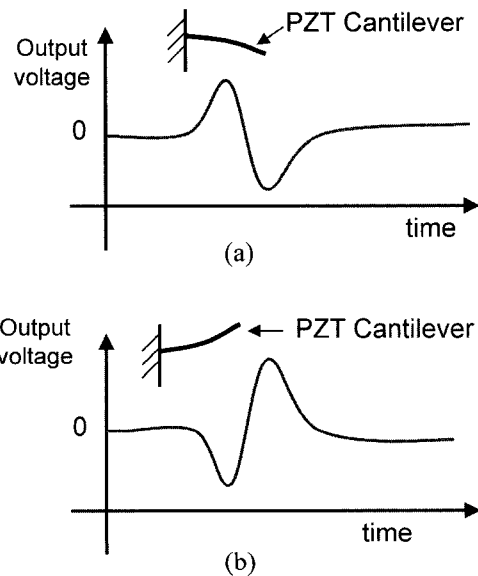


Fig. 5. Output voltage as a function of time for a cantilever deflection.

적층형 PZT(TS18-H5-104, INC)를 이용하여 미세조정 하였다.

2.4. PZT 캔틸레버의 특성곡선

PZT 캔틸레버의 변형과 전압거동간의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. PZT 캔틸레버를 물방울표면에 근접하게 되면 유막표면과 캔틸레버 사이에서 모세관력 발생되고, 캔틸레버 끝이 아래 방향으로 굽게 되어 전압차를 발생시킨다. PZT 압전세라믹의 고유특성인 출력전압의 링다운 현상(ring down)이 발생되고 평형상태가 된다[11].

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. PZT 캔틸레버 출력전압특성

Fig. 6은 물방울 액체 표면의 모세관력을 이용해 PZT 캔틸레버의 전압출력을 나타내었다. (a)는 A형으

로 유니몰프형 PZT 캔틸레버를 이용한 실험으로 전압은 8mV의 출력을 나타내었다. (b)는 B형으로 바이몰프형 PZT 캔틸레버를 이용하여 측정하였다. A형에 비해 출력전압은 20mV로 측정되었으며, 링다운현상이 보이고 있다. (c)는 C형으로 바이몰프형 PZT 캔틸레버에 볼을 부착한 것으로 상대적으로 끝단이 A형 및 B형과 달리 접촉표면이 구형상을 가지고 있어 안정된 값을 나타내었다. (d)는 D형의 바이몰프형 PZT 캔틸레버의 끝단이 날카롭게 제작한 것으로 실험한 결과이다. 특히 링다운현상이 크게 나타나고 있었다. 이것은 캔틸레버의 길이방향으로 단면계수가 변화되어 PZT 압전세라믹이 균일한 변형을 유도하지 못한 것으로 평가된다.

3-2. 유막 측정시 PZT 캔틸레버 출력특성

물방울을 이용한 PZT 캔틸레버 특성을 이용하여 상대적으로 모세관력이 적고, 점착력을 가지고 있는 유

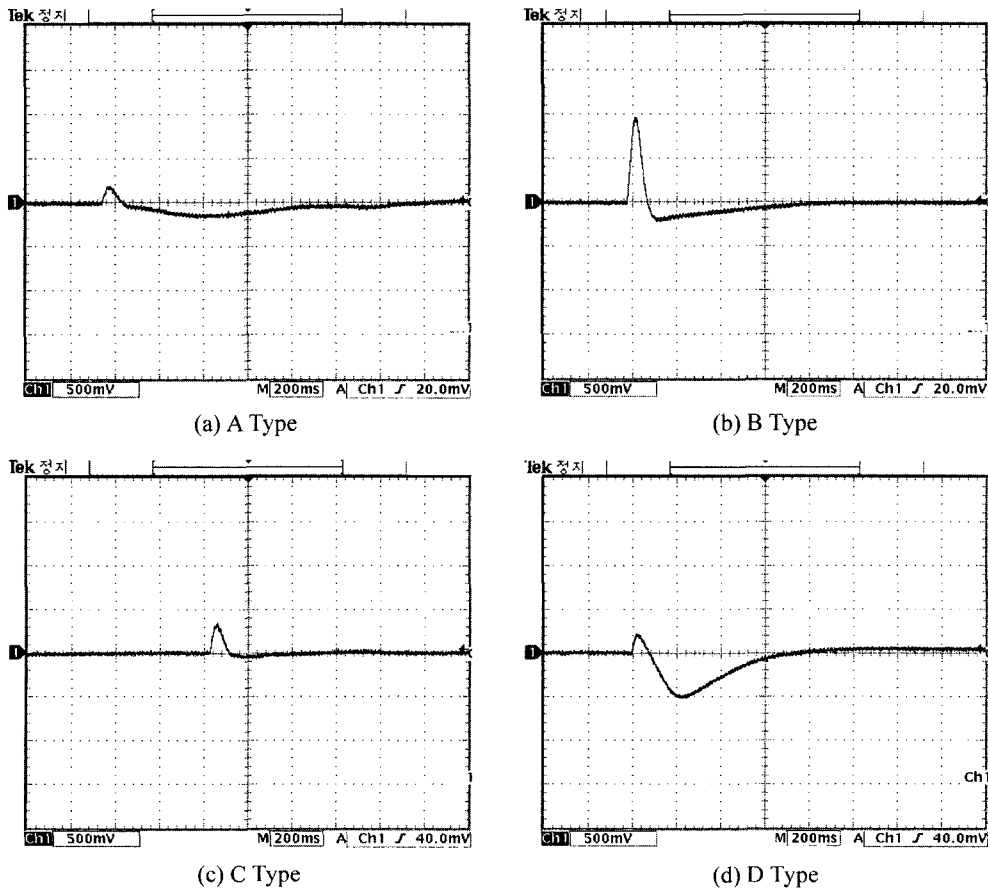


Fig. 6. Output voltage for various cantilever with PZT.

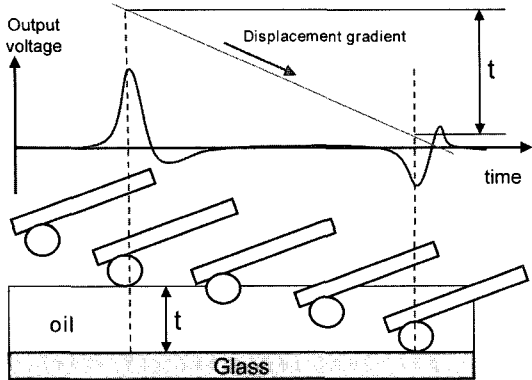


Fig. 7. The concept for measuring of oil thickness using PZT cantilever.

Table 2. Physical and chemical properties of Yubase 4 oil

Properties	Value
Odor	Mineral Oil
Initial Boiling Point	310°C 이상
Flash Point	230°C
Density at 15°C	0.834
Viscosity at 100°C	4.2 cSt

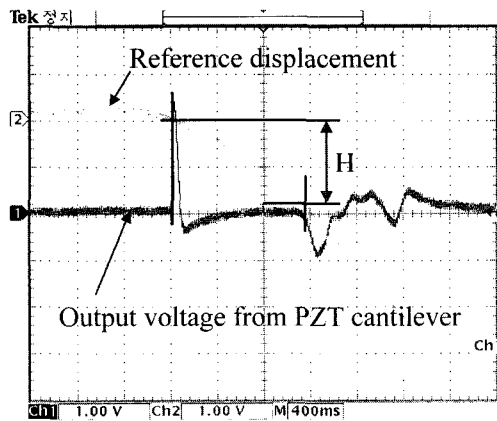


Fig. 8. The output voltage result of 90 μm oil film by C type cantilever.

막형성구조를 이용하여 Fig. 7과 같은 개념으로 유막 두께 측정실험을 수행하였다. YuBase 오일을 스펀코터 (Kyowariken, K359 S-1)를 이용해서 균일한 유막을 준비하였으며, Table 2에 화학적 및 물리적특성을 나타내었다.

Fig. 8과 Fig. 9는 C형 PZT 캔틸레버를 이용하여 측정된 유막두께 결과이다. Fig. 8은 90 mm를 측정한

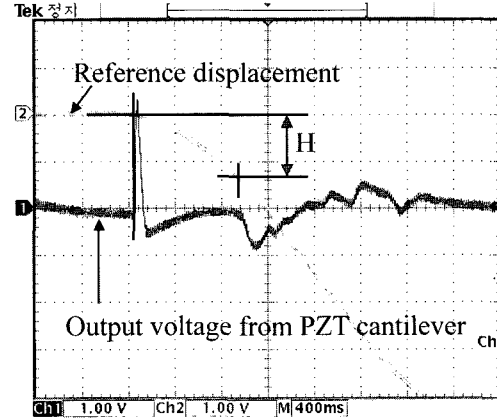


Fig. 9. The output voltage result of 60 μm oil film by C type cantilever.

결과로서 H는 유막 두께를 나타내었다. 측정된 값은 설정된 유막두께와 일치하였다. Fig. 9는 60 μm의 유막에 대한 두께를 측정된 결과이다. 마이크로 스케일의 유막두께 측정의 가능성을 보이고 있었다. 그러나 이것은 C형으로 프로브를 이용한 결과로 향후 볼크기에 따라 미세한 모세관력 및 응착력을 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 SFM의 원리를 이용하여 바이폴프형 PZT 압전 세라믹을 이용하여 캔틸레버의 굽힘 변형으로 인한 전압특성 및 캔틸레버 형상에 따라 전압특성을 평가하고 그 응용에 대한 기초연구를 수행하였다.

PZT 캔틸레버의 전압특성은 캔틸레버두께와 형상에 따라 변화되었으며, 유막접촉과 그라스 표면접촉에 캔틸레버의 전압출력특성을 이용하여 60 μm 및 90 μm 두께의 Yubase 오일두께를 측정하였다.

후 기

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-050-D00002).

참고문헌

1. 김진수, 압전 액추에이터와 초음파 전동기, 다성출판사, 2000.
2. 윤기현, 오기영, 압전·전왜 액추에이터, 반도체판

- 사, 1995.
3. 김호기, 신병철, 압전 · 전왜 세라믹스, 반도출판사, 1991.
 4. B. Bhushan, Handbook of Micro/Nanotribology Second Edition, CRC, 1999.
 5. B. Bhushan, G. S. Blackman, Atomic Force Microscopy of Magnetic Rigid Disks and Sliders and Its Applications to Tribology, Transactions of the ASME, Vol.113, pp.452-457, 1991.
 6. 윤의성, 박지현, 공호성, 양승호, "SPM을 이용한 접촉조건 변화에 따른 미소응착 및 마찰특성에 관한 연구," 윤활학회지, Vol.17, No. 3, pp. 191-197, 2001.
 7. 박지현, 윤의성, 양승호, 장경영, 공호성, "IBAD로 표면개질된 실리콘 표면의 나노 트라이볼로지적 특성," 윤활학회지, Vol. 18, No.1, pp.1-8, 2002.
 8. 양지철, 김대은, "표면 구조 변화에 따른 응착과 마찰 특성에 관한 연구," 한국정밀공학학회지, Vol.19, No.7, pp.51-58, 2002.
 9. 정덕영, 이승엽, 김철순, 하드디스크 드라이브용 압전형 마이크로 액추에이터의 비선형 진동 특성, 대한기계학회논문집A, Vol. 25, No.12, pp.2002-2008, 2001.
 10. 권대규, PZT 액추에이터를 이용한 로터계 동기진동의 강인제어, 대한기계학회논문집A, Vol.26, No.4, pp.711-719, 2002.
 11. 남효진, 조성문, 김영식, 김동천, 부정욱, 홍계완, Nano data storage용 PZT cantilever의 제작 및 특성 평가, 제5회 대한전기학회 MEMS 심포지움 논문집, 제3권, 제1호, pp.27-32, 2001.
 12. J. M. Georges, S. Millot, J. Loubet, and A. Tonck, Drainage of thin liquid films between relatively smooth surfaces, Journal of Chemical Physics, Vol. 98, No. 9, pp.7245-7360, 1993.
 13. J. V. Alsten and S. Granick, Molecular Tribometry of ultrathin Liquid Films, Physical review Letters, Vol.61, No.22, pp.2570-2573, 1998.
 14. J. Shneur and T. H. Mcwaid, Design of an atomic force microscope with interferometric position control, Journal of Vacuum Science Technology B, Vol. 12, No. 6, pp.3561-3566, 1994.