

# Al-3%Ti 박막의 피로성질에 대한 시편 크기 영향

박준협<sup>†</sup> · 명만식\* · 김운재\*

## Specimen Size Effect on Fatigue Properties of Surface-Micromachined Al-3%Ti Thin Films

Jun-Hyub Park, Man Sik Myung and Yun-Jae Kim

**Key Words :** Thin Film(박막), Fatigue Properties(피로성질), Size Effect(크기 영향), Al-3%Ti

### Abstract

This paper presents high cycle fatigue properties of an Al-3%Ti thin film, used in a RF (radio-frequency) MEMS switch for a mobile phone and also describes new test method for obtaining static and dynamic characteristics of thin film and reliability evaluation method on MEMS device with thin film developed by authors. Durability should be ensured for such devices under cycling load. Therefore, with the proposed specimen and test procedure, tensile and fatigue tests were performed to obtain mechanical and fatigue properties. The specimen was made with dimensions of 1000 $\mu$ m long, 1.0 $\mu$ m thickness, and 3 kinds of width, 50, 100 and 150 $\mu$ m. High cycle fatigue tests for each width were also performed, from which the fatigue strength coefficient and the fatigue strength exponent were found to be 193MPa and -0.02319 for 50 $\mu$ m, 181MPa and -0.02001 for 100 $\mu$ m, and 164MPa and -0.01322 for 150 $\mu$ m, respectively. We found that the narrower specimen is, the longer fatigue life of Al-3%Ti is and the wider specimen is, the more susceptible to stress level fatigue life of Al-3%Ti was.

### 1. 서 론

초소형정밀전자기계시스템(Micro-Electro Mechanical Systems, MEMS)는 낮은 가격으로 대량 생산이 가능하게 하는 일괄 공정을 사용해서 초소형정밀전자기계시스템을 만드는 새로운 생산 기술이다. 근래까지는 초소형정밀전자기계시스템 기술은 주로 제작 기술 개발에 주안점을 두고 연구되어 왔다. 반면에, 경쟁력이 있는 초소형정밀전자기계시스템 제품을 만들기 위해서는, 신뢰성 문제가 반드시 해결되어야만 한다. MEMS 신뢰성에 있어서 중요한 일 중의 하나가 MEMS 부품을 구성하고 있는 인장강도, 피로특성 등과 같은 재료의 기

계적 물성을 파악하는 것이다. MEMS 부품은 마이크로 단위로 이루어진 마이크로 단위의 기계적 물성은 큰 물체(bulk)의 재료 물성과는 다르다는 사실이 알려져 왔다. 즉 마이크로 단위의 재료의 기계적 물성은 그 크기(size)와 제조공정에 영향을 받는다고 알려져 왔다 [1-4]. 그러므로, MEMS 제품의 설계를 위해서는, 그 재료의 기계적 물성을 평가할 수 있는 기술의 개발이 필수적이다.

마이크로 단위의 시편을 사용한 재료의 기계적 물성 시험 방법들, 즉 외팔보 굽힘시험[5], 3 점 굽힘시험[6], 벌지(bulge)시험[7,8] 등이 제안되어 왔다. 그러나, 그러한 시험 방법들은 어떤 한계점을 지니고 있다. 예를 들면, 박막에 큰 변형율을 발생 시키기가 어렵고, 굽힘시험에서는 응력구배(stress gradient)가 발생하고, 벌지 시험에서는 응력집중(stress concentration)이 발생한다. 그러나, 시편의 단면에 일정한 응력을 유발시키는 직접적인 인장 시험 방법은 재료의 인장강도와 피로특성을 측정

<sup>†</sup> 동명대학교 메카트로닉스공학과  
E-mail : jhyubpark@korea.com  
TEL : (051)610-8362 FAX : (051)610-8845

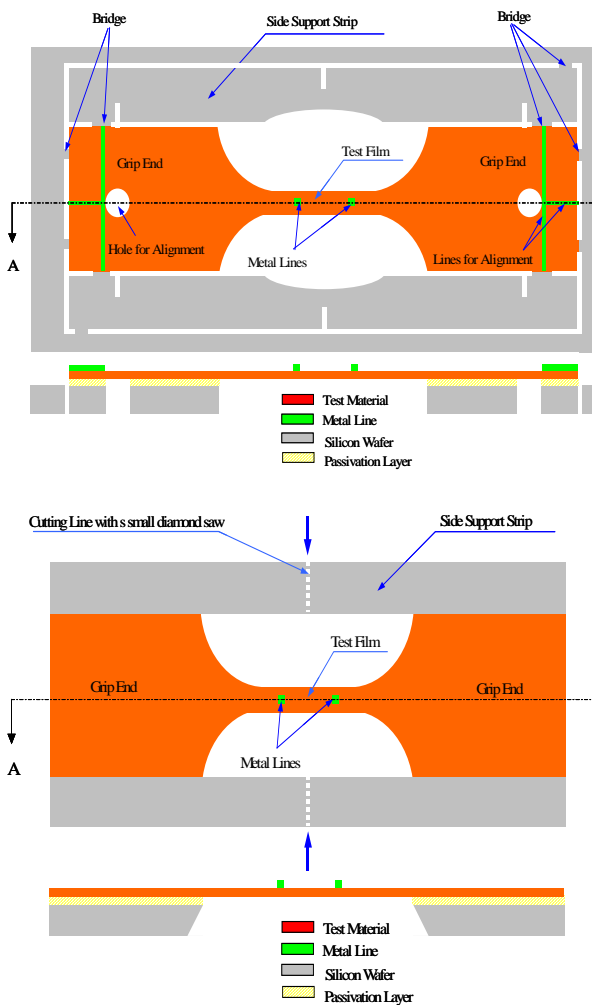
\* 고려대학교 기계공학과

하기 위해서 가장 좋은 방법이다. 따라서 여러 연구자들이 직접적인 인장시험 방법을 개발하고 그를 통해서 마이크로 크기의 재료 기계적인 물성을 측정하여 보고하고 있다[9-12]. 그러나, 그러한 직접적인 인장시험 방법은 박막의 시편을 시험장치에 장착시키거나 다루기가 매우 어렵다.

이 연구에서는 Al-3%Ti 박막의 피로특성이 시편의 폭의 영향을 얼마나 받는지를 알아보기 위해서, 폭 50, 100 and 150 $\mu\text{m}$  인 시편에 대해서 대기중에서 인장-인장 하중의 피로 시험을 수행하였다.

## 2. 마이크로 시편의 구조

본 연구에서는 그림 1(a)에서 보는 것처럼, 새로



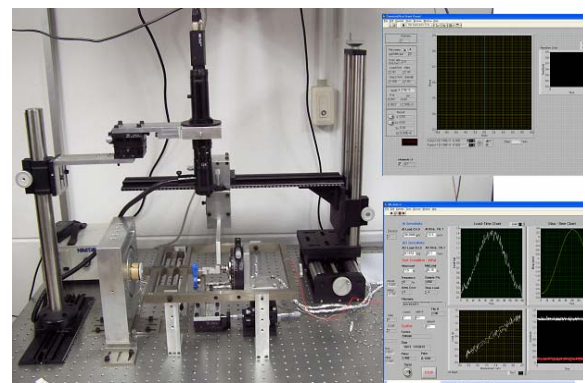
**Fig. 1** Geometry of (a) the proposed specimen, and (b) the specimen proposed by Sharpe et al.

운 형상의 시편이 제안되었다. 이 시편의 형상은 Sharpe 등[13]에 의해 제안된 그림 1(b)와 옆면 지지 구조물(side support strip) 등에서 약간 다르다. 이방성 건식 식각 공정으로 몸체(substrate)를 수직으로 식각하여 그림 1(b)와 같은 기존 시편 제작 방법인 이방성 습식 식각(wet etching)에 의한 경사면을 없애으로써 체결(grip end) 부분의 면적을 크게 하여 체결력(gripping force)을 증가시킬 수 있다. 그리고 체결(grip end) 부분에 작은 구멍을 두어서 시편을 시험기에 작은 핀으로 장착함으로써 시편 장착을 위해서 UV 본드가 필요없어 장착이 상당히 쉬워지고 시편의 중심 잡기(alignment) 또한 쉽게 할 수 있다.

웨이퍼에서 시편을 하나씩 잘라 낼 때 톱질(sawing) 방법을 사용하지 않고 시편 제작 공정 상에서 측면 지지부(side support strip)를 포함한 시편 주위를 일부분의 연결부(bridge)를 제외하고 미리 식각해 놓음으로써, 시험 박막에 손상을 입힐 위험이 있는 톱질(sawing) 방법을 채택하지 않아도 되고, 완전한 시험 박막으로 만들기 전, 시편을 하나씩 잘라 내어 시편 하나씩 후속 공정을 진행하지 않고 웨이퍼 단위로 모든 공정을 할 수 있으므로 시편을 대량으로 손쉽게 만들 수 있다.

또한 시험기에 시편을 장착한 후에 측면 지지부를 제거하기 위해서, 연결부(bridge)를 제외하고 측면 지지부와 시편 사이를 미리 식각하여 둠으로써, 시험 박막에 손상을 입힐 위험이 있는 톱질 방법을 채택하지 않아도 되도록 하였다.

그림 1(a)의 형상을 가진 47 개의 시편이 4 인치 웨이퍼 한 장으로 만들어 진다. 크기 효과를 알아보기 위해서 시편의 폭을 50, 100 and 150 $\mu\text{m}$ 으로 만들었다.



**Fig 2** Photo of the Tensile Tester

### 3. 시험 결과

본 연구에서 사용한 시험기는 이미 발표한 것처럼 그림 2 와 같은 보이즈 코일을 사용하여 저자들이 만든 것이다.

앞에서 설명한 시편과 시험기를 이용하여 먼저 Al-3%Ti 의 대하여 정적 인장시험을 수행하였다. 시편의 변위를 측정하기 위해서 정전용량형 (capacitance) 센서를 사용하였다. 실험에 사용된 센서의 측정 범위는 Nominal Gap 1250 $\mu$ m 에서  $\pm$  625 $\mu$ m 이며, Noise Level 은 0.05% 이하이다. 이 변위 센서는 설정에 따라 최고 250 $\pm$ 12.5 $\mu$ m 의 세밀한 측정 범위를 가질 수 있다.

그림 3 은 Al-3%Ti 의 피로시험결과인 시편폭에 따른 S-N 곡선이다. 이 그림으로부터 시편폭에 따른 피로 물성의 변화는 그다지 크지 않다는 것을 알 수 있다.

그런데 일반 알루미늄 시편의 피로강도 물성 보다는 응력에 매우 민감하다는 것을 알 수 있다.

### 4. 결론

RF MEMS 스위치에 많이 사용되는 Al-3%Ti 에 대하여 피로시험을 수행하였다. 시편의 폭의 영향을 알아 보기 위하여 3 종류의 시편에 대해서 피로 시험을 수행하였다.

피로시험결과에 의하면 시편 폭에 따라 피로 특성이 크게 변하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 그러나 박막의 피로특성은 응력에 매우 민감하여 Al-3%Ti 의 재질을 이용하여 RF MEMS 스위치 등과 같은 MEMS 장치를 만들 때는 주의가 필요하다는 것을 알 수 있었다.

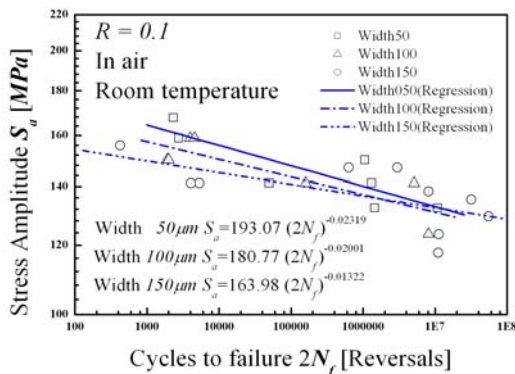


Fig. 3 Stress-life curves of Al-3%Ti

### 후 기

이 연구는 과학기술부의 “MEMS 고장메커니즘 및 신뢰성 설계기술” 사업의 지원을 받아 이루어진 것 입니다.

### 참고문헌

- (1) D. A. Hardwick, “The mechanical properties of thin films: a review”, Thin Solid Film 154 (1987), pp. 109-124.
- (2) P. S. Alexopoulos, T. C. O’Sullivan, “Mechanical properties of thin films”, Ann. Rev. Mater. Sci. 20 (1990), pp. 391-420.
- (3) W. D. Nix, “Mechanical properties of thin films”, Metal. Trans. A 20A (1989), pp. 2217-2245.
- (4) K. P. Larsen, A. A. Rasmussen, J. T. Ravnkilde, M. Ginnerup, O. Hansen, “MEMS device for bending test: measurement of fatigue and creep of electroplated nickel”, Sensors and Actuators A 103 (2003), pp. 156-164.
- (5) S. Johansson, J. A. Schweitz, L. Tenez, J. Tiren, “Fracture testing of silicon micro-elements in situ in a scanning electron microscope”, J. Appl. Phys. 62 (10) (1988), pp. 4799-4803.
- (6) K. Komai, K. Minoshima, H. Tawara, S. Inoue, K. Sunako, “Development of mechanical testing machine for micro-elements and fracture strength evaluation of single-crystalline silicon micro-elements”, Trans. Jpn. Soc., Mech. Eng. A 60-569 (1994), pp. 52-58.
- (7) E. I. Bromley, J. N. Randall, D. C. Flanders, R. W. Mountain, “A technique for the determination of stress in thin-films”, J. Vac. Sci. Technol. B 1 (4) (1983), pp. 1364-1366.
- (8) O. Tabata, K. Kawashata, S. Sugiyama, I. Igarashi, “Mechanical property measurement of thin-films using load-deflection of composite rectangular membrane”, in: Proceedings of the IEEE Micro-Electro Mechanical Systems Workshop (1989), pp. 152-156.

- (9) J. Koskinen, J. E. Steinwall, R. Soave, H. H. Johnson, "Microtensile test of free-standing polysilicon fibers of various grain sizes", *J. Micromech. Microeng.* 3 (1993), pp. 13-17
- (10) T. Tsuchiya, O. Tabata, J. Sakata, Y. Taga, "Specimen size effect on tensile strength of surface micro-machined polycrystalline silicon thin-films", in: *Proceedings of the IEEE MEMS '97* (1997), pp. 529-534.
- (12) S. Greek, F. Ericson, S. Johansson, M. Furtch, A. Rump, "Mechanical characterization of thick polysilicon films: Young's modulus and fracture strength evaluated with microstructure", *J. Micromech. Microeng.* 9 (1999), pp. 245-251
- (13) W. N. Sharpe Jr., B. Yuan, R. Vaidyanathan, R. L. Edwards, "Measurement of young's modulus, Poisson's ratio, and tensile strength of polysilicon", in: *Proceedings of the IEEE MEMS '97* (1997), pp. 424-429.