

단축 인장에 의한 SU-8박막의 기계적 물성 측정

백동천^{†*} · 박태상* · 이순복** · 이낙규***

^{†*}, **한국과학기술원 기계공학과
***한국생산기술연구원

Measurement of mechanical properties of SU-8 thin film by tensile testing

Dong Cheon Baek^{†*}, Tae Sang Park*, Soon Bok Lee**, and Nak Kyu Lee***

^{†*}, **Dept. of Mechanical eng., KAIST,
***KITECH

ABSTRACT

Thin film is one of the most general structures used in micro-electro-mechanical systems (MEMS). To measure the mechanical properties of SU-8 film, tensile testing was adopted which offers not only elastic modulus but also yield strength and plastic deformation by load-displacement curve. Tensile testing system was constructed with linear guided servo motor for actuation, load cell for force measurement and dual microscope for strain measurement.

Key Words : SU-8, Mechanical Properties, Tensile Testing, MEMS, Dual Microscope

1. 서 론

집적회로 기술과 미세 가공 기술에 의한 마이크로 센서 등과 같은 MEMS구조물의 체계적인 설계에 있어서 기계적 물성은 기초적이며 필수적인 설계 요인이다. MEMS 구조물은 실리콘(Silicon)재료 및 금속 재료 등으로 다양화되고 있다. MEMS구조물은 기계적 특성이 두께나 기하학적 요소 및 공정, 환경에 의해서 큰 영향을 받기 때문에 bulk재료와는 크게 다른 값을 갖게 되어 기존의 bulk 재료의 물성 자료를 MEMS 설계에 이용할 수 없는 실정이다. 그러므로 이러한 재료 물성치의 정밀한 측정 방법이 강구 되어야 하며, 제품화를 위해서 미소 기계 구조의 신뢰성 확보가 관건이다.

최근 재료의 기계적 물성을 얻는 대부분의 실험은 마이크로 캔틸레버빔(cantilever beam)에 밴딩(bending)을 주거나 벌지테스팅(bulge testing), 나노인덴터(nano indenter)를 이용한 간접적인 방법 등으로 탄성 계수를 얻을 수 있었다[1]. 본 연구에서는 MEMS 구조

물로 많이 쓰이는 SU-8박막의 기계적 물성을 측정하기 위하여 인장 실험을 수행하였다. 인장용 실험기를 제작하여 단축 응력을 시편에 가함으로써 하중-변위 곡선을 얻었다. 이를 이용하여 탄성 계수뿐만 아니라 항복강도 및 인장강도 등의 재료 강도와 소성변형을 측정하였다.

2. 시편 제작

SU-8은 마이크로 볼딩 기술을 이용하여 바이오 칩의 기본구조물인 미소유체 채널을 제작하는데 널리 쓰이는 감광재료로서 가시광선 영역대의 투과성이 좋고 생화학적으로 적용이 용이한 특성을 가지고 있다.

SU-8의 기계적 물성측정을 위하여 실제 구조물 제작에 보편적으로 사용되는 공정과정과 보편적인 두께로 다음과 같이 시편을 제작하였다. Fig. 1(a)과 같이 실리콘 웨이퍼(silicon wafer)를 wet oxidation을 통하여 약 1 μm의 희생층을 생성한 후 액상의 SU-8을 약 120 μm 높이로 스피닝(spin coating)한다. Fig. 1(b)와 같이 soft baking 후 UV exposure 및 PEB(post exposure baking)와 development를 하여 시편의 형상을 mask로부터

[†]E-mail : dcbaek@kaist.ac.kr

패턴을 옮긴다. IPA(isopropyl alcohol)에 세척한 후 각각의 시편을 diamond pencil로 cutting한다. HF(hydrogen fluoride)에서 oxide layer를 제거하여 최종적으로 SU-8 박막을 실리콘에서 분리한다.

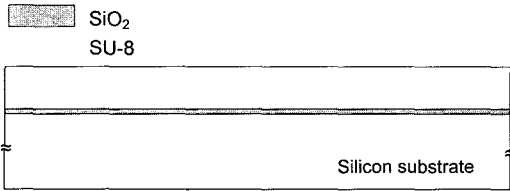


Fig. 1(a). Wet oxidation and SU-8 coating.

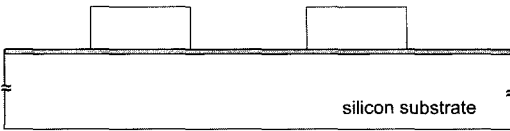


Fig. 1(b). Lithography of SU-8.

설계한 시편의 평면 형상은 Fig. 2와 같이 5개의인장 시편으로 이루어진 set이며, 4 인치 wafer에 한 번의 공정으로 수십 개 제작되었다. Fig. 3과 같이 현미경을 이용하여 표준길이 시편의 길이와 비교하여 얻은 시편의 폭, 두께, 표점 거리는 각각 300 μm, 120 μm, 1 mm이다. 두께의 경우 에폭시 수지에 몰딩 후 측면을 polishing하여 두께를 측정하였다.

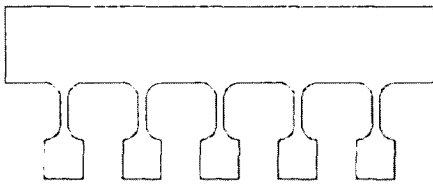


Fig. 2. Mask design of tensile testing specimen of SU-8.

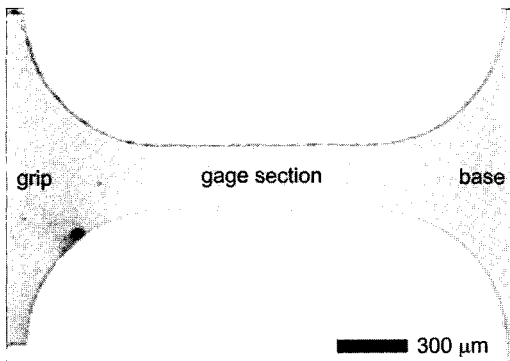


Fig. 3. Optical microscope image of SU-8 specimen.

3. 인장실험 결과

3.1. 인장실험기

Fig. 4와 Fig. 5는 인장 실험기의 개요와 실제 사진이다. 구동은 PC제어 펄스 입력 방식으로 46 nm의 단계(step)로 이동할 수 있는 linear guided motor로 하며 grip은 film의 양끝을 압착하여 고정하였다. 하중은 로드셀(load cell)로 측정하며 변형률은 뒤에 소개된 dual microscope로 측정하였다. 인장 속도는 0.46 μm/sec이며 동시에 다음과 같이 하중과 변위를 측정 하였다.

로드셀의 최대 용량은 2.5lb(약11 N)이며, 분해능은 DAQ의 analog-to-digital 변환 시 결정되는데 10 V범위에서 12 bit를 제공하므로 이론적으론 0.0024 V이나 잡음으로 인하여 0.005 V(0.01 N)까지 신뢰할 수 있다.

변위를 측정하는dual microscope는 임의의 간격으로 떨어진 두 작은 영역을 확대하여 얻은 CCD영상으로부터 패턴 인식을 통하여 각 위치에서의 변위를 측정하는 장치이다[2]. 시편의 국부적인 변형을 측정하므로 machine stiffness에 영향을 받지 않으며 sampling rate는 약 10개/sec이다.

본 실험에서는 표점거리 1 mm로 설정 하였으며 이 경우 변형률 측정 분해능은0.005%이다.

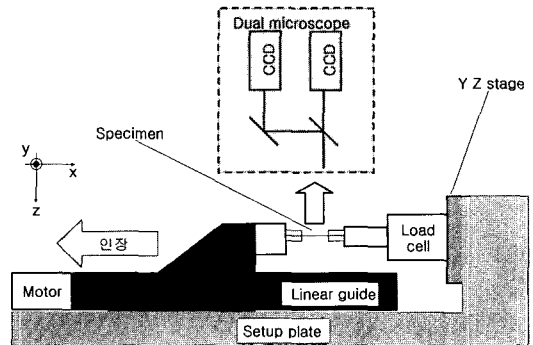


Fig. 4. Schematic diagram of tensile testing system.

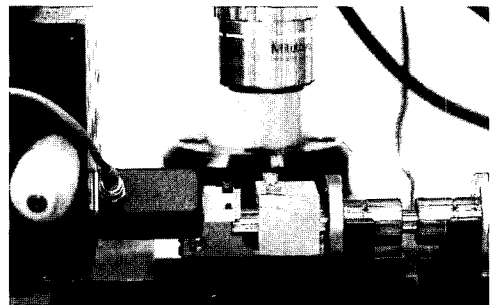


Fig. 5. Picture of tensile testing system.

인장 실험 시 misalign으로 인한 측정 오차는 구동기의 직진성, 구동부와 측정부의 align, 시편의 grip시 발생하는 pre-loading에 의한 영향들이 있다. 구동기의 직진성은 dual microscope로 직접 구동기의 xy변위를 측정하여 평가한 결과 인장 실험에 사용되는 구동 범위 140 μm에서 횡변위가 0.18 μm의 정도로 극히 작으며, 구동부와 측정부의 align은 dual micro scope의 CCD를 이용하여 조절하였다.

3.2. 인장실험 결과

SU-8의 인장실험 결과 Fig. 6과 같이 전형적인 semi-crystalline polymer의 거동을 보인다. 직선의 초기 탄성영역 다음의 항복점을 지나 small necking이 국부적인 영역에서 발생한다 이때 SU-8내부의 임의의 방향으로 배열된 chain-folded lamella들이 여러 개의

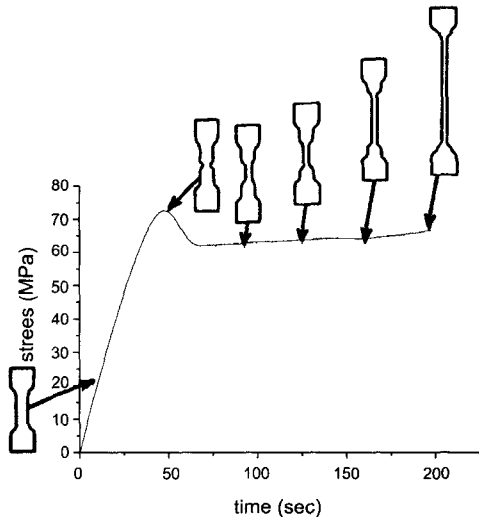


Fig. 6. Stress vs. time curve of SU-8.

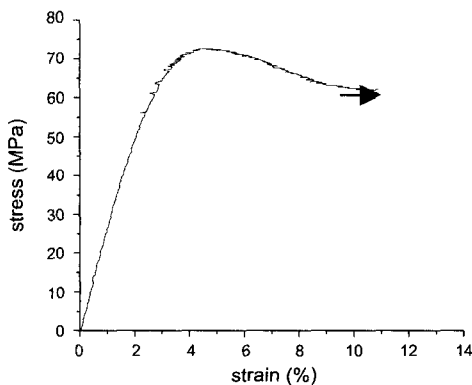


Fig. 7. Stress vs. strain curve of SU-8.

crystalline block으로 깨어지며 인장방향으로 재배열되어 국부적인 영역에서 재료가 강해진다. necking이후 하중이 감소하는 연성고속과는 달리 에폭시 기반의 polymer인 SU-8은 necking이 gage section전체로 확장되기 때문에 하중이 감소하지 않고 점점 증가하며 상당히 큰 변형 후 파단이 일어나게 된다[3]. Fig. 7은 dual microscope의 변형을 측정 범위의 한계로 인하여 necking 직후 까지만 얻은 인장곡선이다.

다른 연구자와 비교하였을 때 비교적 적은 편차의 결과를 얻을 수 있었으며, 측정된 물성이 서로 차이를 보이는 이유 중 하나는 여러 가지 SU-8의 미세한 성분 차이와 제작공정조건의 상이함이라 할 수 있겠다.

Table 1. Tensile testing result and comparison[4].

Material property	Elastic modulus(GPa)	Tensile strength(MPa)
This test	2.72±0.12	73.7±2.4
McAleavey	약 3	120-130
Chang	1.5-3.1	50-80

4. 결 론

MEMS공정을 인장 실험에 적용할 수 있는SU-8시편을 하나의 wafer에 동일한 공정 조건으로 다량으로 제작하였다. 미소유체 채널의 공정과 유사한 조건으로 제작된 SU-8의 경우 전형적인 semi-crystalline polymer의 거동을 보이며 2.7 GPa의 탄성 계수를 갖는다. 73 MPa의 인장강도에서 necking현상이 일어나며 이것은 gage section전체로 확장되어 수 십%의 변형 후 파단 하는 특성을 보인다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광열유체 마이크로 부품 기술개발 사업의 세부과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분들에게 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. Mohamed, "The MEMS Handbook", CRC press2002.
2. Tae Sang, P., Dong Cheon B., and Soon Bok L., "An Experimental Technique with Pattern Recognition for

- Deformation Measurement of Small Structures”, Transactions of Materials Processing Vol. 11, No. 7, 2002.
3. Jerold M. Schultz, “Polymer Materials Science”, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ., p.488, 1974.
 4. McAleavey, A., Coles, G., Edwards, R.L., and Sharpe, W.N., “Mechanical Properties of SU-8”, Micro electromechanical Structures for Materials Research, materials Research Society Symposium, Vol. 546, pp. 213-218, 1998.