

# 고온 미소 재료시험기의 개발

## Development of the High Temperature Micro Material Tester

임상채\*, 강기주\*\*

\* 전남대학교 대학원 기계공학과

\*\* 전남대학교 기계공학과

### 1. 서론

기판(substrate)위에 박막(thin film)을 성장시키고 이용하고자 하는 연구가 큰 관심을 끌고 있다. 이러한 박막의 응용범위는 Optical, Electrical, Mechanical, Thermal 분야 등으로 상당히 넓으며, 많은 경우 박막은 하나 이상의 유용한 특성을 갖는다. 이러한 박막의 유용한 특성 때문에 기존의 연구자들은 박막의 제작<sup>(1)</sup>과 유용한 특성의 이용방법<sup>(2)</sup>에 대하여 관심을 가지고 연구를 집중하여 왔다. 최근에는 국·내외에서 고온이나 진공 등의 특수한 환경에서 박막을 이용하기 위한 연구가 활발하다.

이러한 열적·기계적 하중을 동시에 받으며, 두께가 수십nm~수백 $\mu$ m인 박막의 기계적 물성을 측정하기 위해서는 연구목적에 알맞은 미소재료시험기를 보유하는 것이 무엇보다도 중요하다. 그러나 현재 시판되고 있는 미소 재료시험기의 경우 그 구동방식에 관계없이 소용량인 경우에도 값이 비싸며, *In situ* Monitoring이 어렵다는 점, 특히 두께가 얇은 시편을 위한 재료시험기의 경우 국산화가 이루어지지 않고 있는 국내의 경우 특별한 재정적 기술이 없는 한, 대학 등의 연구실에서 독립적으로 구입, 보유하는 것은 여간 어려운 일이 아니다. 이러한 사정을 감안하여, 열적·기계적 하중을 받고 있는 박막의 기계적 물성 측정 연구 등에 적합한 고온미소재료시험기를 국내에서 입수할 수 있는 재료를 사용하여 제작하였다.

### 2. 기존연구의 문제점 및 설계목표

이러한 두께가 매우 얇은(수십nm~수백 $\mu$ m) 박막의 기계적 물성을 측정하기 위해 순수 제작된 재료 시험기로 좋은 예<sup>(3)</sup>가 있다. Sharpe은 MEMS(micro electro mechanical systems)의 재료로 쓰이는 Polysilicon Film의 Young's Modulus, Poisson's Ratio and Tensile Strength를 측정하기 위해 최대 하중 4.5N이 가능한 재료시험기를 제작하였다. 이 시험기의 구동방식은 Piezoelectric Translator를 이용하였고, 시편의 변형률은 ISDG(interferometric strain/dis placement gage)방법<sup>(4)</sup>을 이용하였다.

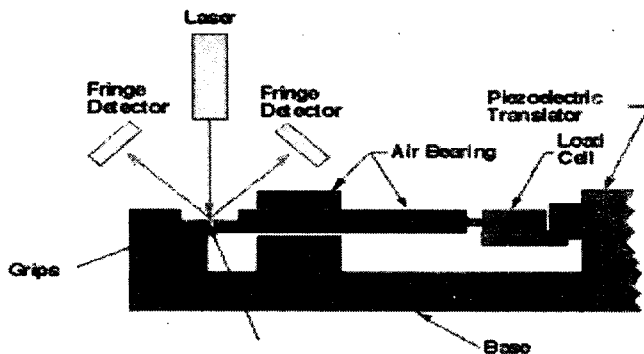


Fig. 1 The micro tension tester for MEMS material.

Fig. 1은 MEMS 재료(polysilicon film)를 위한 미소 인장 시험기를 개략도를 나타낸다. 그러나 이 시험기는 고온환경에서 사용되는 박막의 기계적 물성을 측정하기 위한 실험에는 사용할 수 없고, 상대적으로 큰 하중(10N 이상)을 가할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 1000 $^{\circ}$ C이상의 고온환경 하에서 산화 & 기계적 하중에 의한 미소적층막(micro thin film)의 변형 및 파괴 실험을 수행함과 동시에 *In situ* Monitoring이 가능하도록 재료시험기를 개발하고자 한다.

본 연구에서는 다음과 같이 설계목표를 설정하였다.

1. 제작된 시험기는 수십nm~수백 $\mu$ m범위의 박막형태의 시편을 대상으로 한다.
2. 상온부터 1300 $^{\circ}$ C이하의 고온 박막 재료의 정적 물성을 측정한다.
3. 주변환경(기압, 산소분압, 습도등)의 조절이 가능한 용기에 들어갈 수 있을 만큼 소형이어야 한다.
4. 실험과정에서 비접촉으로 직접적인 하중, 변위 및 변형률 측정이 가능해야 한다.

### 3. 미소 재료시험기 제작

#### 3.1 시험기 본체

Fig. 2는 본 연구에서 제작한 미소 재료시험기의 개략도이다. 그림에 점선으로 표시된 것과 같이 시험기의 프레임에 사각창을 두어 시험기의 전방 및 후방에서 시편에 직접적으로 레이저와 적외선 등이 투과되도록 설계하였다.

#### 3.2 부하기구

이 시험기의 부하기구(Fig. 2의 ⑧, ⑨, ⑩, ⑪, ⑫)로는 스테핑모터를 사용하였다. 스테핑모터는 펄스에 의해 디지털적으로 제어하는 것이 가능하므로 PC와 연동하여 사용하기에 적합하고 유압식, 공압식에 비해 진동이 적고 정적하중 및 정밀제어가 가능하다는 장점이 있다. 본 시험기에 사용된 스테핑모터는 *ORIENTAL MOTOR*사 제품으로 5상제어방식 ( $0.72^\circ/\text{step}$ )에 Gear Guard를 설치하여  $0.018^\circ/\text{step}$ 이 가능하다. 이 스테핑모터에 1회전 당 이송거리가 1mm인 Cross Roller Guide를 부착하여 1step당 이송거리가  $0.05\mu\text{m}$ 가 되도록 하였다. 그리고 이 스테핑모터를 제어하기 위해 *SURUGA SEIKI*사의 콘트롤러(*Model D121MS*)를 이용하였다.

#### 3.3 고온발생장치

시편에 고온을 발생시키는 장치는 *In situ Monitoring*이 가능하고, 주변환경(기압, 산소분압, 습도 등)의 조절이 가능한 용기에 들어갈 수 있을 만큼 소형으로 제작하기 위해, 저항체에 전기를 가하면 저항열에 의해 저항체(시편)의 온도가 상승하게 되는 Joule의 법칙을 응용하였다. 시편을 고정하는 그림에 Fig. 2의 ⑭ 부분에 DC 전원장치(*HP, Model 6573A*)를 연결하여 시편에 전류를 가하도록 하였다. 이 전원장치는 외부 PC를 통하여 출력전류로 Program할 수 있는 기능이 있다.  $100\mu\text{m}$ 두께의 Fe-22Cr-4.8Al-0.3Y 박막(폭×길이,  $5\text{mm}\times 50\text{mm}$ )에 대한 예비실험 결과, 전류 10.01A, 전압 2.694V로 공급했을 때  $1200^\circ\text{C}$ 의 온도에 도달하였다.

#### 3.4 변위 및 변형률 측정

변위 및 변형률 측정방법으로는 크게 접촉식과 비접촉식 방법으로 나눈다. 비접촉식 방법으로 대표적으로 ISDG, 모아레, 홀로그래피, ESPI(electronic speckle pattern interferometry), 그리고 레이저 스펙클(laser speckle strain/displacement gage)방법으로 나눌 수 있다. 그러나 개발된 시험기는 두께가 수십nm~수백 $\mu\text{m}$ 범위의 박막형태의 시편이고 고온( $1000^\circ\text{C}$  이상)이 가해지기 때문에 접촉식의 경우 시편의 손상, 정밀측정, 그리고 *In situ Monitoring*의 어려움 등의 여러 가지 제약을 가지고 있다. 또한, 비접촉식 방법인 ISDG방법의 경우 시편에 Gold Line을 증착 또는 압흔하는 작업이 필요하고, 모아레 방법의 경우 시편에 격자를 붙여야 하는데, 이 과정이 하루 정도가 소요되며 매우 번거롭다. 그리고 시편에 격자를 부착하여 측정하기 때문에 시편이 작은 경우 격자에 의한 정확한 변형의 측정이 어렵고 시편 자체의 변형이 왜곡될 수 있다. 또한 시편에 고온의 열을 가할 경우, 대변형이 일어나는 경우 격자의 파손으로 인해 표면 변형의 측정이 어렵다. 홀로그래피의 경우는 건판을 이용하여 3차원 형상을 저장하는 방법으로 비 숙련자와 숙련자의 측정값이 매우 다르며, 해석하는데 있어서 오랜 시간이 걸린다. 이에 비해 ESPI의 경우 CCD카메라로 실시간 변형을 측정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 시편 진동 발생 시 간섭무늬를 획득하기 어려운 단점을 가지고 있다.

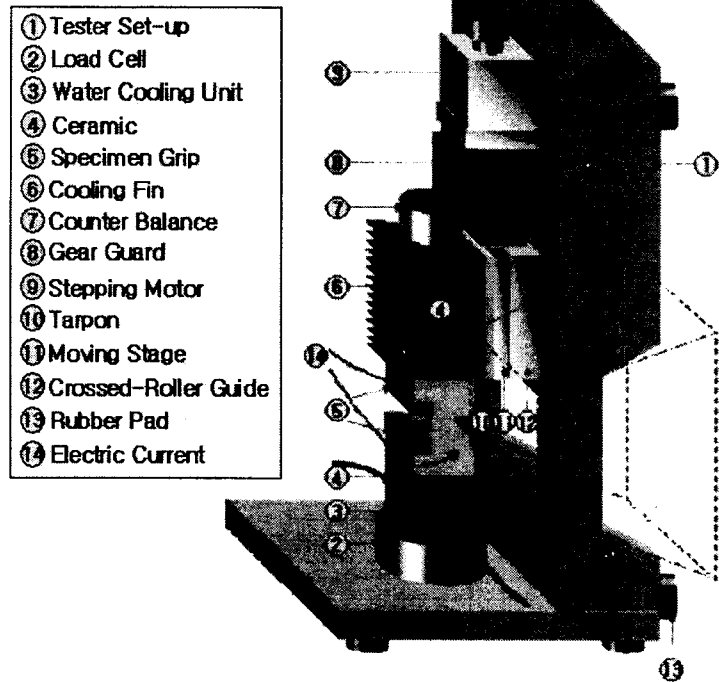


Fig. 2 Schematic Diagram of micro material tester

따라서 본 연구에서는 위의 단점을 보완하여 진동이 발생하여 시편의 강제이동과 회전이동이 존재하는 경우, 그리고 시편에 고온의 열이 가해질 경우에도 이용될 수 있는 레이저 스페클법<sup>(5)</sup>을 이용하여 변위와 변형률을 측정했다.

Fig. 3은 레이저 스페클법을 이용한 변형을 측정법의 개략도를 나타낸다. 이때 주의할 점은, 본 연구에서 개발된 시험기는 시편에서 저항열에 의한 빛이 발광한다. 따라서 시편에서 발광하는 빛의 영향을 받지 않고 레이저 스페클을 얻기 위해서는 CCD 카메라의 셔터스피드를 1/2000sec로 빠르게 조절해야 한다는 것이다. Fig. 4는 1000℃ 시편표면의 변형전·후의 스페클 패턴을 프레임그래버를 이용하여 획득한 영상을 나타낸다.

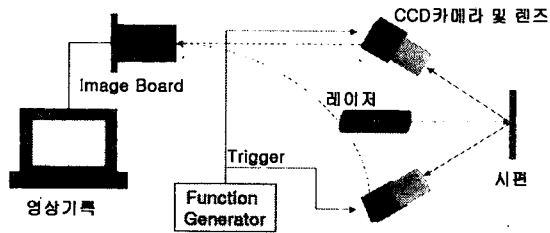


Fig. 3 Schematic Diagram of Laser Speckle Method

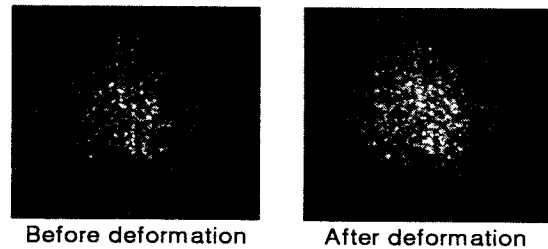


Fig. 4 Speckle pattern before/after deformation of specimen surface at 1000℃

### 3.5 하중측정

시험기의 출력하중을 Fig. 2의 ②의 위치에 부착하여 검출하고 있다. 본 로드셀의 용량은 200N이며, 이 로드셀의 신호는 신호증폭기(MEASUREMENTS GROUP, Model Amp3211)에 연결하여 4000배로 증폭을 하고 노이즈 제거를 위해 신호증폭기는 100Hz로 필터링을 하였다. 증폭된 신호는 16bit 분해능을 가지고 있는 DATA TRANSLATION사의 DT322 Board를 사용하여 PC에 입력하였다.

### 3.6 온도측정

개발된 재료시험기는 고온발생장치가 있다. 따라서 시편의 온도를 제어하기 위해서는 시편의 온도를 검출할 수 있는 방법이 있어야 할 것이다. 본 연구에서는 700~1300℃의 온도를 측정할 수 있는 적외선온도계(RAYTEK, Model RAYFR1BCF103)를 이용하여 시편의 온도측정을 하였다. 또한 측정된 온도는 RS-232C 인터페이스를 통하여 컴퓨터로 검출할 수 있도록 하였다.

### 3.7 제어 및 데이터 취득 프로그램

본 연구에 사용된 제어 장치는 크게 세부분으로 나뉜다. 시편에 1000℃이상의 저항열을 발생시키고, 원하는 온도를 유지 및 제어시키는 전압·전류 제어부, 컴퓨터로 아날로그 물리량을 읽고 필요한 전압 신호를 내보내기 위한 ADC/DAC 제어부, 그리고 변위제어 및 하중제어를 위한 스테핑모터 제어 및 컴퓨터 인터페이스부로 이루어져 있다. Fig. 5은 *in situ* Monitoring을 위한 제어 장치의 개략도를 나타낸다. 본 연구에서 제작한 시험기는 컴퓨터를 통해 측정된 물리량을 획득·저장하고, 디스플레이하면서 소프트웨어로 본 시험기를 제어하도록 하였다. 시험기를 제어하기 위한 소프트웨어는 Visual C++ 과 HP-VEE 응용 소프트웨어를 이용해 직접 프로그래밍 하였다. Fig. 5는 시험기 제어

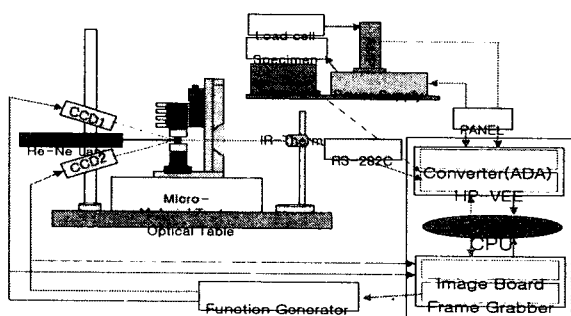


Fig. 5 Schematic Diagram of the *in situ* monitoring system

프로그램의 실행화면이다. Fig. 5의 제어 프로그램은 하중제어와 변위제어가 가능하도록 프로그래밍 하였다. Fig. 6은 프로그램의 알고리즘을 나타내는 순서도이다. Fig.6의 순서도에 대해서 자세히 알아보면 다음과 같다. 우선 RS-232C통신을 위해 환경설정을 한 후 변위제어, 하중제어 여부에 대해서 입력한다. 변위제어의 경우 원하는 거리를 입력후 스테핑모터를 회전하게 하고 하중제어의 경우 기준하중을 입력하고 HP-VEE를 통해 저장되는 하중데이터를 받아들여 비교한 후 스테핑모터를 회전하게 하여 하중제어가 가능하게 하였다.

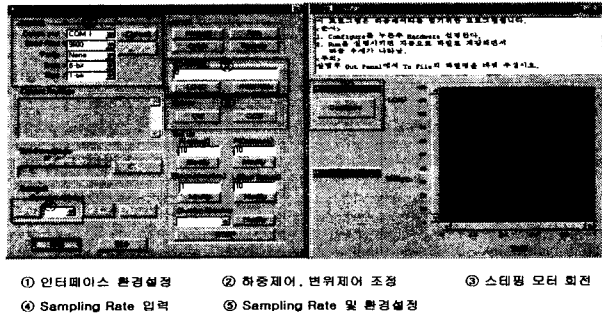


Fig. 5 The control program of micro material tester

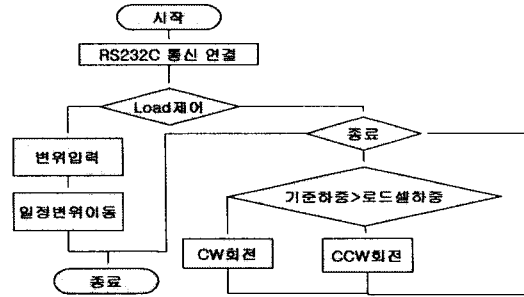


Fig. 6 Flowchart for displacement and load control of micro material tester

#### 4. 검토

Fig. 7은 본 연구를 통해서 지금까지 언급한 내용을 중심으로 설계, 제작된 미소재료시험기를 보여 주고 있다. Table 1는 개발된 미소 재료시험기의 규격을 나타낸다. 시험기의 총 중량은 8.5kg으로 이동이 간편하며 고무패드와 방진테이블에 고정하여 진동 등의 영향을 최소화했다. 실험에 사용될 모든 장치(전원공급장치, 변형률 측정장치, 데이터 취득 프로그램 및 보드, 각종 센서류 등)를 모두 합하여 대략 3,000만원 정도의 비용이 소요되었다. 본 시험기는 앞으로 금속재료의 미소 재료시험뿐만 아니라, 고온·진공 등의 특수한 환경에서 사용되는 박막의 정적물성 측정에 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

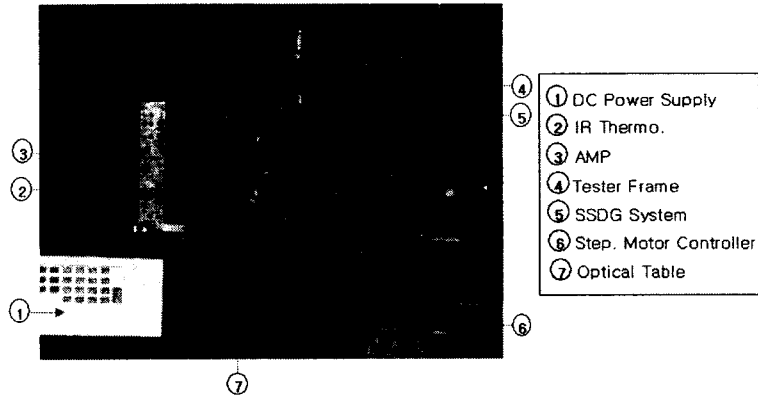


Fig. 7 Photograph of experimental setup for micro material tester

Table 1 Specifications of micro material tester

Tester	Dimension	380mm × 180mm × 140mm
	Total weight	8.5kg
Actuator	Sliding mechanism	Crossed-roller guide (Lead:1mm)
	Stepping motor	5-Phase(0.36° per one step) with micro-step
	Load capacity	±9kg (*Lift load is available to ±20kg)
	Travel per one pulse	1μm with macro step, 0.05μm with micro step
	Maximum speed	0.5mm/s
Heating system	High temperature	over 1000°C
Load cell	Load Limit	±20kg

#### 참고문헌

- (1) D. Satas, "Coatings Technology Handbook", MARCEL DEKKER, INC., Press, 1991
- (2) H. Hoffmann, "THIN FILMS: TRENDS AND NEW APPLICATIONS", ELSEVIER, Vol 1-2, Press, 1989
- (3) William N. Sharpe, Jr., Bin Yuan, and Ranji Vaidyanathan, "Measurements of Young's Modulus, Poisson's Ratio and Tensile Strength of Polysilicon", Proceeding of the tenth IEEE International Workshop on Microelectromechanical System, Nagoya, Japan, 424-429, 1997
- (4) William, N., Sharpe, Jr., "Applications of the Interferometric Strain/Displacement Gauge", Optical Engineering, Vol.21, No.3, pp. 483-488, 1982
- (5) Ogura, K. and Nishikawa, I., "Laser Speckle Strain/Displacement Gauge and its application to Fracture problems of ceramics and ceramic coating", Pro. of APCFS96, Korea, pp. 749-754, 1996