

마이크로 ESPI 기법을 이용한 동 박막의 인장 특성 측정

김동일*, 허용학#, 기창두**

Measurement of Tensile Properties of Copper Foil using Micro-ESPI Technique

Dong Iel Kim*, Yong Hak Huh# and Chang Doo Kee**

ABSTRACT

Micro-tensile testing system, consisting of a micro tensile loading system and micro-ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry) system, has been developed for measurement of micro-tensile properties of thin micro-materials. Micro-tensile loading system had a load cell with the maximum capacity of 50N and micro actuator with resolution of 4.5nm in stroke. The system was used to apply a tensile load to the micro-sized specimen. During tensile loading, the micro-ESPI system acquired interferometric speckle patterns in the deformed specimen and measured the in-plane tensile strain. The ESPI system consisted of a CCD-camera with a lens and the window-based program developed for this experiment. Using this system, stress-strain curves for 4 kinds of electrolytic copper foil 18 μ m thick were obtained. From these curves, tensile properties, including the elastic modulus, yielding strength and tensile strength, were determined and also values of the plastic exponent and coefficient based on Ramberg-Osgood relationship were evaluated.

Key Words : Micro-ESPI (마이크로 ESPI), Elastic Modulus (탄성계수), Yielding Strength (항복강도), Tensile Strength (인장강도), Copper Foil (동 박막), Stress-Strain Curve (응력-변형률 곡선)

1. 서론

MEMS 저변기술의 발달과 함께 미래의 핵심 기술로서 나노 기술에 관심이 대두되고 있으며 이에 따라 박막 재료를 이용한 전자 기계 구조물의 개발 및 응용이 활발히 진행되고 있다. 이러한 미소 구조물의 성공적인 사용을 위해서는 신뢰성의 확보가 매우 중요한 문제가 된다. 미소 구조물의 대부분은 단층 혹은 다

층의 박막 형태로 구성되고, 이들 소재는 구조물의 설계 및 제작 공정의 차이로 인하여 bulk 소재와는 다른 물성을 가지고 있다. 또한 이들 소재 물성의 평가도 기하학적 조건에 따라 bulk 한 재료에 적용되는 평가 기법을 이용할 수 없다. 이에 따라 이러한 수 혹은 수십 마이크로미터의 얇은 두께의 박막 소재에 대한 기계적인 물성을 얻기 위해서는 고도화된 측정 기법이 요구된다.

지금까지 여러 연구자들은 이러한 마이크로 및

접수일: 2004년 2월 5일; 게재승인일: 2004년 5월 7일

* 전남대학교 기계공학과 대학원

교신저자: 한국표준과학연구원 강도평가그룹

E-mail yhhuh@kriss.re.kr Tel. (042) 868-5386

** 전남대학교 기계시스템공학부

나노 소재의 물성을 평가하기 위한 노력을 기울이고 있으며, 마이크로 보 굽힘 시험(*beam bending test*), 나노 압입 시험(*nano indentation test*), 팽창시험(*bulge test*), 그리고 마이크로 인장시험(*micro-tensile test*) 등이 제안되고 있다.^{1,2} 이들 각 시험으로부터 인장 강도 및 탄성계수 등을 비롯한 인장 물성 그리고 탄소성 특성이 얻어지고 있으며, 각각의 시험 방법은 시험편의 준비와 결과 해석의 용이성 등에 대한 장단점을 가지고 있다. 이러한 미소재료에 대한 인장 물성은 마이크로 인장시험에 의하여 직접적으로 평가되는 반면에 다른 방법으로는 간접적으로 결정되는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 직접적인 방법을 좀더 신뢰성이 있게 인장 물성이 얻어지는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

마이크로 시험편을 이용한 인장 시험 방법에서는 마이크로 인장 하중 구동장치와 인장 변형 측정 시스템의 개발이 요구되고 있다. 전자현미경(SEM) 스테이지,³ 원자력현미경(AFM) 구동장치⁴ 혹은 압전자(*piezo*) 구동체⁵ 등을 이용한 부하장치, ISDG (*Inerferometric Strain Displacement Gage*)⁵ 혹은 간섭계⁶⁻⁸ 와 같은 미소 변형 측정 시스템 등이 제안되었다. 이에 따라 본 연구에서도 미소 시험편의 인장 시험을 수행할 수 있는 미소 인장 시험 장치와 마이크로 전자 스펙클 패턴 간섭법(*Electronic Speckle Pattern Interferometry; ESPI*)을 이용한 미소변형 측정 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 시스템을 활용하여 마이크로 BGA(*micro Ball Grid Array*; 대규모 집적 회로(LSI) 패키지의 일종으로 작은 PCB 위에 베어칩(*bare chip*)을 올려놓고 뒷면에 2차원 배열로 반구형의 단자를 배치한 방식)의 빔 리드(*beam lead*)로 사용되는 전해 동 박막(*electrolytic copper foil*)의 인장 특성을 측정하였다. 마이크로 ESPI 시스템으로 인장 변형 동안의 변형률이 측정되어 응력-변형률 곡선을 결정하였고 이로부터 탄소성 특성과 인장 물성을 결정하였다. 또한 인장 시험 속도에 대한 인장 물성의 의존성을 고찰하였다.

2. 미소 인장 시험 시스템

박막과 같은 마이크로 소재의 인장 시험을 수행하기 위해서는 시험기의 작은 하중 용량과 높은 해상도 그리고 마이크로 변형 측정 등의 측정 능력을 요구하고 있어 기존의 사용 시험기의 사용에는 다소의 제한성이 있다. 이에 따라 박막의 특성에 적합한 시험

시스템의 사용 및 개발이 필요하다. 본 연구에서는 마이크로 소재의 인장 시험에 적합한 시스템을 개발하



Fig. 1 Micro-tensile testing system including micro actuator and load cell

였다. 본 시험 시스템은 마이크로 인장 하중을 가할 수 있는 인장 시험 장치와 마이크로 변형을 측정하는 시스템으로 구성하였다.

2.1 미소 인장 시험 장치

본 시험 장치는 하중 지지대, 하중 구동장치 그리고 하중 센서로 구성되어 있다. 하중 지지대는 수평 방향으로 하중이 가해지도록 설계하였고, 인장 시험편의 크기에 따라 하중 구동체의 위치를 변경하여 고정할 수 있도록 시험 장치의 바닥면(*base plate*)의 T-홈(*T-slot*)을 제작하였다. 하중 구동장치는 최대 50N의 구동력을 가지는 선형 모터 구동체(*linear motor actuator, PI*)이다. 하중 구동체는 최대 이동거리는 10mm 이고, 변위 분해능(*stroke resolution*)은 4.5nm 그리고 최대 이송 속도는 1.5mm/s 이다. 하중 센서(*load cell, SENSOTEC*)는 하중 구동체 및 고정체에 연결이 될 수 있도록 하였으며, 본 시스템에서는 시험편의 평행과 뒤틀림을 막기 위해 고정밀의 x-y 이송장치를 이용하여 하중 고정체에 연결하였다. 하중 센서의 최대 용량은 50N이며, 인장과 압축이 가능하다. Fig. 1은 본 시험 장치의 모습을 나타낸다. 이러한 하중 구동체는 본 연구에서 사용자 편의의 시스템으로 개발한 제어 프로그램으로 PID 방식으로 제어 되도록 하였다. 시험 중 발생하는 하중 및 변위의 변화는 제어용 컴퓨터에 연결된 데이터 획득 보드를 통하여 그래픽 처리되도록 하였다.

2.2 인장 변형 측정 시스템

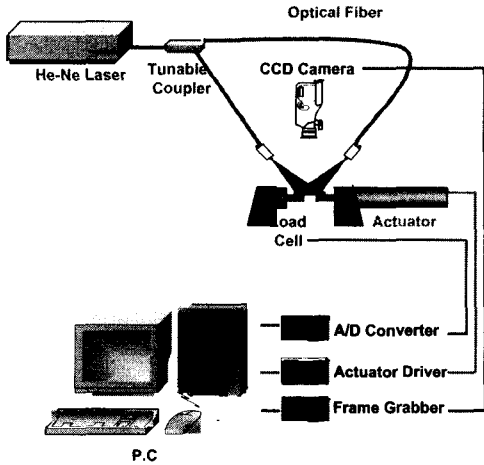


Fig. 2 Schematic diagram of micro-ESPI system for measuring tensile strain during micro-tensile test

본 연구에서는 인장 시험동안 연속적으로 면내 인장 변형률(in-plane tensile strain)을 측정하는 방법으로 마이크로 ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry) 기법을 개발하였다. ESPI는 실시간으로 빛의 파장 영역의 측정 정밀도를 가지며, 홀로그래프를 현상한 후 환원이 어렵고 시간이 많이 걸리는 홀로그래피 간섭법의 단점을 보완하기 위해 Butter와 Leendertz⁹에 의해 개발된 방법으로 홀로그래피 간섭법보다 선명도가 떨어지는 단점에도 불구하고 산업적으로 많이 이용되고 있는 비접촉식 계측 방법이다.

Fig. 2는 본 연구에서 개발한 면내 마이크로 ESPI(in-plane micro-ESPI)방법의 개략도이며, 면내 인장 변형을 측정하는 광학적 연결도를 나타낸다. 본 시스템에 사용된 레이저 광원은 22mW의 He-Ne Laser이며, 광 파이버(optical fiber)를 통해 레이저 빔이 전달되도록 하였다. 시험편에 조사되는 두 방향의 레이저 빔은 특수 제작된 빔 분리기에 의해 같은 광량으로 분리되고 렌즈를 통해 확산되도록 하였다.

각각의 파이버에 의해 시험편에 조사된 두 빔을 물체면에 대한 물체광(object beam), 참조면에 대한 기준광(reference beam)이라 하면 각각의 빛의 진폭 u_o , u_r 은 다음과 같다.

$$u_o = a_o \exp \left[-j \left(\frac{\varphi + 2\pi l_o}{\lambda} \right) \right] \quad (1)$$

$$u_r = a_r \exp \left[-j \left(\frac{\varphi + 2\pi l_r}{\lambda} \right) \right] \quad (2)$$

여기서, φ 는 레이저의 초기 위상을 나타내고 λ 는 광원의 파장, l_o 와 l_r 은 물체광과 참조광의 경로를 나타낸다. 빛의 세기는 복소 진폭의 자승으로 결정되므로 시험편에 조사된 두 빔에 의해 중첩 반사된 스펙클들은

$$I = |u_r + u_o|^2 = |a_r|^2 + |a_o|^2 + 2|a_r||a_o| \cos \left[\frac{2\pi(l_o - l_r)}{\lambda} \right] \quad (3)$$

과 같이 되며 CCD 카메라의 수광소자에 결상되어 영상보드(frame grabber, DT3152)에 의해 실시간으로 측정된다.

시험편의 변형정보는 변형 전후의 영상을 이용하여 줄무늬 패턴을 형성하여 얻게 된다. 이러한 패턴의 선명도를 좋게 하기 위하여 차분 연산이 많이 사용되고, 이는 식 (4)와 같다.

$$\Delta I = I_2 - I_1 = 4|a_r a_o| \left[\sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{l_{o2} + l_{o1}}{2} \right) - l_r \right] \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{l_{o2} - l_{o1}}{2} \right) \right] \right] \quad (4)$$

식(4)에 의하여 얻어진 줄무늬 패턴은 첫 번째 sine 항에 의하여 스펙클 노이즈가 심하게 되나, 두 번째 sine 항에 의해 전체적으로 변형에 비례하는 패턴이 된다.

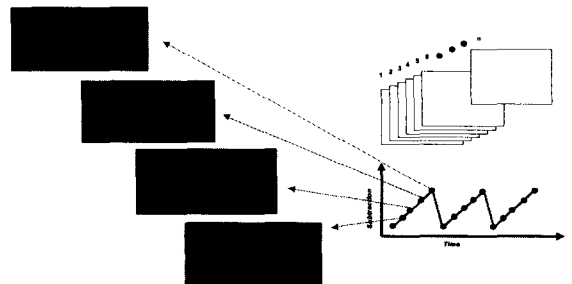


Fig. 3 Algorithm for measuring subsequent tensile strain during micro-tensile testing

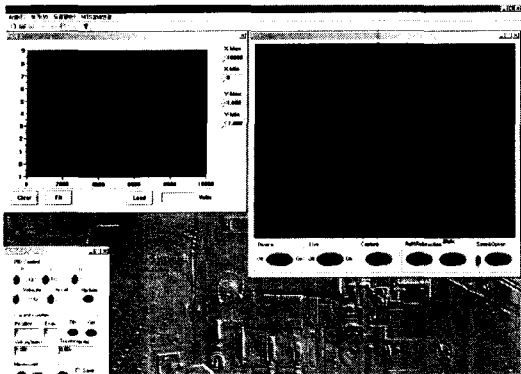


Fig. 4 System for controlling the test machine and processing speckle pattern image (IPSGv2)

Fig. 2와 같은 광학 시스템을 통하여 얻어지는 스펙클 패턴은 인장 시험동안 연속적인 부하 및 변형에 대하여 연속적으로 일정 간격으로 얻어지게 된다. 연속적인 시험편의 변형은 간섭에 대한 한계를 넘어서게 되어 시험 부하직전의 상태의 변형 기준에 대하여 연속적으로 변형을 측정하기는 어렵다. 따라서 본 시스템에서는 Fig. 3에 나타난 바와 같은 연속 변형 측정 기법을 사용하였다. 즉, 하나의 기준 스펙클 패턴에서 임의의 변형이 발생할 때까지 연속적으로 변형 상태를 측정하고 다시 기준을 선택하여 그 기준에 대한 변형을 앞의 방법과 같이 연속적 측정하여 이러한 기준 선택과 연속적인 측정이 반복되도록 하였다. 이에 따라 인장 변형의 탄성 변형과 소성 변형의 비교적 큰 대변형 상태를 연속적인 간섭 패턴의 형성으로 측정할 수 있도록 하였다.

Fig. 4는 이러한 연속적인 스펙클 간섭 패턴이 측정되도록 본 연구에서 개발한 화상 처리 프로그램 (IPSGv2)을 보여준다. 본 프로그램에서는 스펙클 패턴의 화상과 스펙클 패턴이 얻어지는 하중 수준을 동기화하여 기록하게 하였다. 또한 본 프로그램에서는 이러한 화상의 획득과 함께 Fig. 1에 보여준 시험 시스템을 제어하고 그 하중과 변위에 대한 정보도 동시에 동기화하여 컴퓨터 화면에 가시화하며 저장하도록 하였다. 본 프로그램은 Visual C++6.0을 사용하여 개발하였다.

3. 실험 방법

3.1 인장 시험

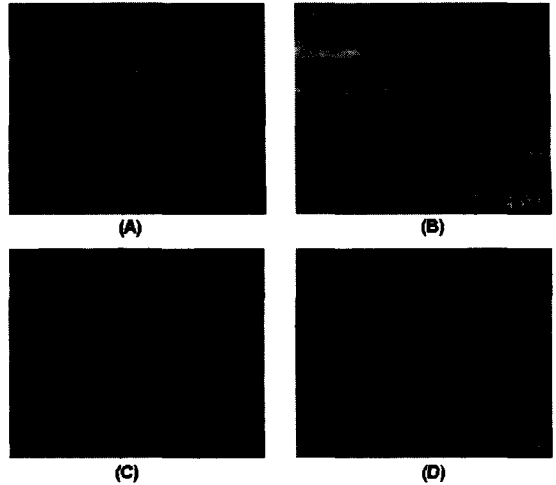


Fig. 5 Microstructure of copper foils by SEM; (A) F2WS, (B) HTE, (C) FQ_HTE, (D) FQ_VLP

본 실험에는 마이크로 BGA의 빔 리드 (beam lead) 등의 마이크로 부품 소재로 사용되는 전해 동 박막 (electrolytic copper foil)을 이용하여 시험을 하였다. 본 시험에 사용한 전해 동 박막은 4가지 종류(이하 본문에서는 F2WS, HTE, FQ_HTE, FQ_VLP로 표기함)를 선택하였으며, 소재의 두께는 모두 18 μm 이다. 본 소재에 대한 미세 조직은 Fig. 5와 같다. Fig. 5는 전해 동 박막의 foil로부터 0.5mm \times 2mm로 채취된 시험편의 표면으로부터 전자 현미경(SEM)으로 얻어진 미세조직 사진이다. Fig. 5에서 보여준 바와 같이 전해 과정으로 박막이 형성되어 박막 표면에서 각 동 박막의 입자 크기를 정량적으로 측정하기 어려웠으나, F2WS 소재의 입자가 전체적으로 다른 소재에 비하여 입자의 크기가 작음을 보여주고 있다. 또한 4종류의 전해 동박막에서 각 박막의 입자의 크기는 비교적 균

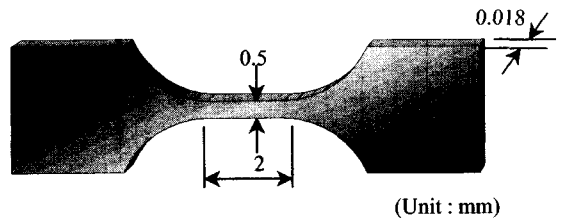


Fig. 6 Dimension and shape of the micro-tensile specimen used in this study

일함을 보여주고 있다.

시험편은 각각의 전해 동 박막으로부터 시험편들을 이용하여 기계적으로 제작하였다. 시험편은 Fig. 6 과 같은 형상을 가지고 있으며, 평행부가 2mm, 폭이 0.5mm 이다. 제작된 시험편은 조심스럽게 시험 하중 지지대와 구동체에 연결된 인장 그림에 옮겨지고, 접착법에 의하여 시험편이 고정되도록 하였다. 시험편이 완전히 고정되기 전에 시험편의 축 정렬과 평형을 얻기 위하여 시험 장치에 부착된 고 배율 카메라로 시험편의 상태를 측정하여 고정밀의 x-y 이송장치로 보정하였다. 인장 시험은 일정 속도의 변위 제어로 수행하였고, 시험동안 인장 하중, 변위 그리고 변형을 동시에 계측하였다.

마이크로 인장 시험에 대한 시험 속도의 의존성을 조사하기 위하여 3 가지 다른 시험 속도를 선택하였으며, 이는 10, 50, 100 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이다.

3.2 인장 변형 측정

인장 시험동안 인장 변형을 측정하기 위하여 면내 ESPI 법을 사용하였으며, Fig. 1 과 2 에서 보여준 바와 같이 두 개의 레이저 빔이 시험편에 조사되었다. 레이저 빔은 Fig. 1 에서 보여준 바와 같이 조사 각도 조정대를 이용하여 입사각을 조정하였으며, 본 연구

에서는 45° 의 입사각을 사용하였다. 시험편 표면에 직각되는 방향에 대칭으로 조사하는 두 레이저 빔은 변형하는 시험편의 표면으로부터 반사되고, 반사된 레이저 빔은 두 개의 레이저 빔의 중간에 위치한 CCD 카메라에 의하여 측정된다. CCD 카메라에는 측정 해상도를 향상시키기 위하여 고배율 줌 렌즈(F-Length 108mm)를 부착하였다.

동일한 광량을 가진 두개의 레이저 빔에 의하여 조사된 측정면은 렌즈를 통하여 CCD 카메라의 수광 소자(image plane)에 결상되고 간섭되도록 하였다. 결상된 화상에 해당되는 각 화소에 대해 그에 대응되는 각각의 민감도 벡터(sensitivity vector)를 이용하여 변위의 양을 결정할 수 있으며,⁹ 민감도 벡터는 광학계 구성에 따라 변화할 수 있고, 본 연구에서 측정하는 면내변위에 따른 민감도 벡터에 의한 위상차, $\Delta\phi$ 는 $4\pi(d \sin\theta)/\lambda$ 이다. 여기서 θ 는 두 레이저의 시험편에 대한 입사각으로 본 연구에서 앞에서 언급한 바와 같이 45도이다.

위상차, $\Delta\phi$ 는 $2\pi N$ 이므로 변위는 다음과 같게 된다.

$$d = \frac{N\lambda}{2 \sin \theta} \quad (5)$$

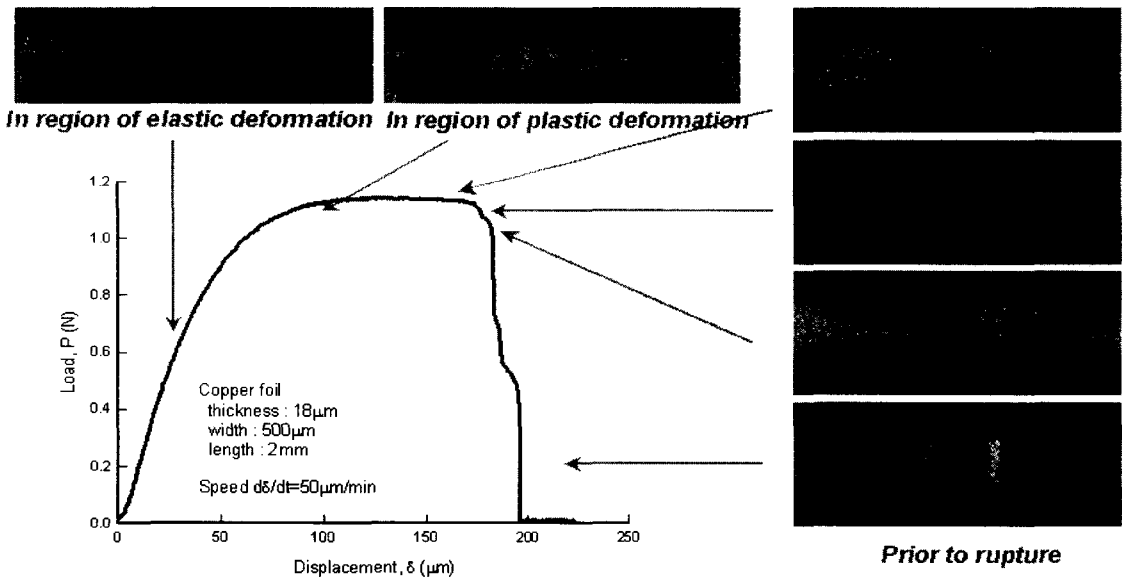


Fig. 7 Typical tensile load-displacement curve for electrolytic copper foil and typical fringe patterns obtained at the respective instant showing elastic, plastic deformation, crack initiation and propagation

여기서, λ 는 He-Ne 레이저의 파장으로 632.8nm 이고 N은 줄무늬 차수를 나타낸다. 이에 따라 시험편의 측정면에서 얻어진 간섭 무늬로부터 식(5)에 따라 시험편의 변형을 계산할 수 있고, 이로부터 식(6)과 같은 식을 통하여 간섭무늬의 줄무늬 간격을 측정하여 시험편 평행부에서 나타나는 변형률을 계산하게 된다.

$$\epsilon = \frac{\lambda}{2 \sin \theta F} \quad (6)$$

여기서 F는 두 줄무늬 간의 간격을 나타낸다.

이와 같은 스펙클의 줄무늬로부터 인장 변형률의 계산은 Fig. 3에서 보여준 연속적인 인장 변형 측정 알고리즘의 사용과 함께 인장 시험동안 수행되어진다. 본 연구에서는 이러한 연속적인 스펙클 줄무늬 패턴 획득동안 나타나는 데이터의 노이즈 성분을 효과적으로 처리하기 위하여 저주파 필터를 사용하였으며, 이는 Gaussian-Bezier 곡선 피팅 알고리즘을 적용하였다.

4. 동 박막의 인장 특성

4.1 응력-변형률 곡선

본 실험에서는 4 종류의 전해 동 박막을 Fig. 6과 같은 인장 시험편을 사용하여 인장 시험을 수행하여 하

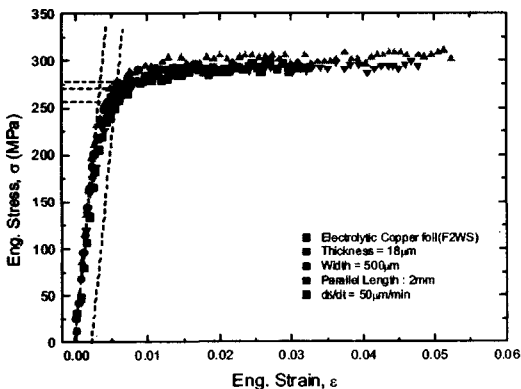


Fig. 8 Typical tensile stress-strain curve for electrolytic copper foil

중-변위의 곡선을 얻었다. 전해 동 박막은 종류에 따라 인장 하중 및 연신률의 크기가 각각 다르게 나타나고 있으나, 인장 하중-변위 곡선은 비교적 비슷하게

나타나고 있으며, Fig. 7은 본 시험에서 얻어진 하중-변위 곡선의 한 예를 나타낸다. 또한 인장 시험동안 인장 변형을 마이크로 ESPI 기법을 이용하여 측정하였으며, 마이크로 ESPI에 의한 스펙클의 패턴은 Fig. 7에 나타낸 바와 같다. Fig. 7에서 알 수 있는 바와 같이 전해 동 박막은 탄성 및 상당한 소성의 변형을 보이고 있다. 각 변형의 단계에서 스펙클의 줄무늬 패턴은 비교적 명확하게 잘 나타나고 있으며, 탄성 및 소성 영역에서의 스펙클 줄무늬 패턴은 시험하중 방향에 대하여 수직으로 잘 나타나고 있다. 이는 본 시험에서 가한 인장 하중이 시험부의 단면에 대하여 균일하게 작용하고 있음을 의미한다. 탄성과 소성 변형상태에서의 프린지 패턴의 특성은 커다란 차이를 보이지 않으나, 소성 영역에서의 프린지 패턴(fringe pattern)은 탄성 영역에 비하여 비교적 큰 변형을 보이고 있어 안정적으로 나타나고 있었다. 또한 이러한 스펙클 줄무늬 패턴은 인장 하중이 급격하게 떨어지기 시작하는 부분에서 줄무늬는 한 부분에 집중되기 시작하며 계속적인 하중의 저하에 따라 집중되는 점의 이동이 단면으로 이동하기 시작하였다. 즉, 파단의 시작부터 파단의 끝까지의 균열의 성장 과정을 스펙클 패턴이 비교적 명확하게 보여주고 있다.

Fig. 7에서 보여준 스펙클의 줄무늬 패턴으로부터 각 변형의 수준에서 인장 변형률은 식(6)에 의하여 계산되고, Fig. 3에 나타낸 바와 같이 연속적인 변형률 측정 알고리즘을 사용하여 인장 시험동안의 응력-변형률 곡선을 얻을 수 있다. Fig. 8은 그 예를 나타낸다.

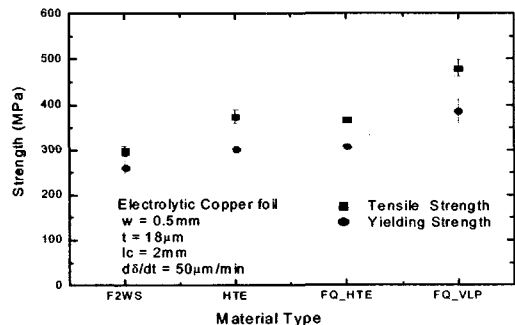


Fig. 9 Variation of the yielding strength and tensile strength with material types used in this study

4.2 인장 특성

4 종류의 전해 동박막은 인장 시험으로부터 Fig. 8

Table 1 Mechanical properties obtained from micro-tensile tests for 4 kinds of electrolytic copper foil

I.D. of Material	Elastic Modulus E (GPa)	Yielding Strength σ_{ys} (MPa)	Tensile Strength σ_{ul} (Mpa)	Plastic Constant $\alpha_0(\times 10^{-3})$	Plastic Exponent m
F2WS	71.1 ± 5.3	257.6 ± 7.4	294.6 ± 1.6	1.56 ± 0.4	18.97 ± 4.8
HTE	72.3 ± 0.8	305.9 ± 5.7	377.3 ± 1.1	0.46 ± 0.2	21.1 ± 2
FQ_HTE	70.8 ± 5.0	305.8 ± 4.2	365.0 ± 3.3	1.38 ± 0.7	0.74 ± 2.5
FQ_VLP	79.9 ± 1.4	397.1 ± 5.6	461.2 ± 14	2.41 ± 2.6	17.7 ± 2.7

과 같은 공칭 응력-변형을 곡선(engineering stress-strain curve)을 얻을 수 있다. 이 곡선으로부터 인장 특성인 항복강도, 인장 강도, 탄성 계수 그리고 소성 특성을 결정할 수 있다. 이러한 마이크로 인장 시험으로부터 이들 성질을 결정하는 방법에 대한 표준 기법이 아직 제시되고 있지 못하고 있으나, 전통적인 인장 성질 결정법에 따라 탄성계수와 0.2% 오프셋 항복 강도를 결정할 수 있다. 또한 인장 강도는 인장 하중-변위 곡선의 최대 하중으로부터 결정하였다. Table 1 은 이러한 결정법에 의하여 얻어진 4 종류의 전해 동 박막에 대한 각 성질을 정리한 표이다. 4 종류의 전해 동 박막의 탄성 계수는 거의 비슷하게 측정 되었으며, 최소 71GPa 에서 최대 80GPa 의 범위의 값을 가지고 있음을 보이고 있다. 항복강도와 인장 강도는 동 박막의 종류에 따라 다소의 차이를 보이고 있으며, Fig. 9 는 그 경향을 보이고 있다.

Fig. 8 에서 보여준 바와 같이 전해 동 박막은 상당한 소성 특성을 보이고 있다. 이러한 탄소성 특성에 대한 정보는 이러한 동 박막을 이용한 마이크로 부품의 설계 및 신뢰성 평가에 매우 유용하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 탄소성의 특성을 응력-변형을 곡선으로부터 결정하였으며, 이는 Ramberg-Osgood 관계를 이용하여 평가하였다. 본 연구에 사용한 Ramberg-Osgood 관계식은 다음과 같다.

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha_0 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{ys}} \right)^m \quad (7)$$

여기서, α_0 와 m 은 각각 소성 계수와 지수이다. 본 연구에 사용한 4 종류의 전해 동 박막에 대한 식(7)의

소성계수, α_0 와 소성지수, m 은 Table 1 에 각각 나열하였다.

Fig. 8 과 Table 1 에서 보여준 바와 같이, 본 연구에서 개발한 마이크로 인장 시스템과 마이크로 ESPI 에 의한 인장 변형 측정 시스템은 Fig. 6 에서 보여준 전해 동 박막과 같은 마이크로 시험편을 사용하여 인장 특성을 잘 평가할 수 있음을 보여주고 있다.

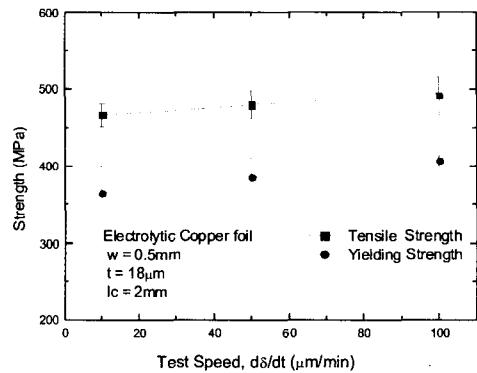


Fig. 10 Variation of the yielding strength and tensile strength

4.3 인장 특성의 속도 의존성

전통적인 소재(bulk material)에서의 인장 특성은 시험 변형률의 속도에 따른 의존성을 보이고 있다. 이러한 속도에 대한 특성의 차이는 제한된 시험 속도 내에서는 그 차이가 작아 일반적인 표준 시험의 조건으로 규정하여 인장 시험을 실시하고 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 박막과 같은 마이크로 시험편에서

이러한 의존성에 대해서는 아직 보고되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 다소 제한적인 범위이지만 시험 속도에 따른 인장 특성의 변화를 고찰하였다.

본 연구에서는 전해 동 박막(FQ_VLP)을 사용한 인장 강도와 항복 강도에 대하여 3 종류의 다른 시험 속도인 10 $\mu\text{m}/\text{min}$, 50 $\mu\text{m}/\text{min}$ 그리고 100 $\mu\text{m}/\text{min}$ 을 선택하여 시험 속도 의존성을 조사하였다. Fig. 10 은 본 시험에서 얻어진 인장 시험 속도에 따른 항복 강도와 인장 강도의 변화를 나타낸다. Fig. 10 에서 보여주는 바와 같이 인장 시험 속도에 따라 다소 차이를 보이고 있다. 즉 인장 시험 속도의 증가에 따라 인장 강도와 항복 강도는 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서 이러한 마이크로 시험편에서의 시험 속도의 변화에 따라 강도의 평가가 달리 나타날 수 있음을 본 연구의 결과에서 보여주고 있다. 그러나 이러한 경향이 다른 마이크로 소재에서 발생하는 가에 대해서는 좀 더 많은 연구가 필요하다. 또한 이러한 인장 특성의 인장 속도에 대한 의존성은 마이크로 인장 시험에서의 표준 시험 조건의 설정에 매우 의미를 가지고 있어, 마이크로 재료에 대한 기계적인 물성을 평가하기 위해서는 좀 더 면밀한 실험이 준비되어야 할 필요가 있다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 미소 인장 하중 시스템과 마이크로 ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry) 시스템을 포함한 미소-인장 시험 시스템을 개발하였다. 미소 인장 시험 시스템은 최대 50N 의 허용 하중과 4.5nm 의 스트로크 해상도를 가지고 있다. 면내 인장 변형률은 마이크로 ESPI 와 연속적인 인장 변형을 측정 알고리즘에 의해 측정된다. 이 시스템은 18 μm 두께의 4 가지 종류의 전해 동 박막의 인장 특성을 측정하는데 적용되었고, 각각의 재료에 대하여 응력-변형을 곡선을 얻었다. 이들 곡선으로부터 탄성계수, 0.2%오프셋항복강도, 인장강도를 결정하였고 Ramberg-Osgood 관계에 의한 탄소성 계수를 평가하였다. 또한 마이크로 소재의 미소 인장 시험에서의 시험 속도의 의존성을 조사하기 위하여 10 $\mu\text{m}/\text{min}$ 에서 100 $\mu\text{m}/\text{min}$ 의 범위에서의 시험 속도에 대한 항복 강도와 인장 강도의 변화를 얻었다. 항복 강도와 인장 강도는 시험 속도의 증가에 따라 다소 증가하는 경향을 보이고 있어 마이크로 소재의 시험 속도 의존성을 확인하였다.

후기

본 연구는 전남대학교 BK21 사업단과 한국표준과학연구원의 연구 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Mohamed Gad-el-Hak, The MEMS Handbook, CRC Press, 2002.
2. Park, J.H., IEEE Trans. On Components and Packaging Technologies, Vol. 25, p. 1, 2002.
3. Tsuchiya, T., Tabato, O., Sakata, J. and Taga, Y., "Specimen Size Effect on Tensile Strength of Surface-Micromachined Polycrystalline Silicon Thin Films," J. Microelectromech. Syst. 7, pp. 106-113, 1998.
4. Chasiotis, I. and Knauss, W., "Mechanical Properties of Thin Polysilicon Films by means of Probe Microscopy," Proc. SPIE 3512, pp. 66-75, 1998.
5. Sharper, W.N. Jr., Yuan, B. and Edwards, R.L., "A New Technique for measuring the mechanical properties of thin films," J. microelectromechanical systems, Vol. 6, No. 3, 1997.
6. Espinosa, H.D., Prorok, B.C. and Fisher, M., "A Novel Experimental technique for Testing Thin Film and MEMS Materials," Proc. of the SEM Annual Conf, pp. 446-449, 2001.
7. Huh, Y.H., Kim, D.I., Yoon, K.J., Kim, K.S. and Oh, C.S., "Measurement of Micro-Tensile Properties using ESPI Technique," J. of the KSPE, Vol. 18, No. 5, pp. 90-97, 2001.
8. Read, D.T., "Young's Modulus of Thin Films by Speckle Interferometry," Measurement Science and Technology 9, pp. 676-685, 1998.
9. Gray, L. Cloud, "Optical Method of Engineering Analysis," Cambridge Univ., pp.453-476, 1995.