

MEMS 공정을 이용한 단결정 실리콘 미세 인장시편과 미세 변형 측정용 알루미늄 Marker의 제조

박준식* · 전창성* · 박광범* · 윤대원* · 이형욱** · 이낙규** · 이상목** · 나경환** · 최현석*** · 한창수***
(2004년 2월 10일 접수)

Fabrication of Single Crystal Silicon Micro-Tensile Test Specimens and Thin Film Aluminum Markers for Measuring Tensile Strain Using MEMS Processes

J. S. Park, C. S. Jeon, K. B. Park, D. W. Yoon, H. W. Lee, N. K. Lee
S. Lee, K. H. Na, H. S. Choi and C. S. Han

Abstract

Micro tensile test specimens of thin film single crystal silicon for the most useful structural materials in MEMS (Micro Electro Mechanical System) devices were fabricated using SOI (Silicon-on-Insulator) wafers and MEMS processes. Dimensions of micro tensile test specimens were thickness of $7\mu\text{m}$, width of $50\sim 350\mu\text{m}$, and length of 2mm . Top and bottom silicon were etched using by deep RIE (Reactive Ion Etching). Thin film aluminum markers on testing region of specimens with width of $5\mu\text{m}$, lengths of $30\sim 180\mu\text{m}$ and thickness of 200nm for measuring tensile strain were fabricated by aluminum wet etching method. Fabricated side wall angles of aluminum marker were about $45^\circ\sim 50^\circ$. He-Ne laser with wavelength of 633nm was used for checking fringed patterns.

Key words : Micro Tensile Test, MEMS Device, Aluminum Marker, Wet Etching, Side Wall Angle

1. 서론

반도체 산업의 성장은 소형화, 고집적화 경향을 이끌었으나, 거시적인 재료에서 볼 수 없었던 여러 가지 문제점도 야기하고 있다. 최근 MEMS를 이용한 많은 소자들의 개발이 급격한 발전을 이루면서 미세구조에서의 기

계적인 특성에 대한 연구가 그 중요성을 더해가고 있다. 현재까지 박막의 기계적 특성 연구가 다각적으로 이루어지고 있으며 이와 관련된 표준화 문제도 동시에 부상하기 시작했다. 지금까지 재료의 거시적인 기계적 특성을 측정하는 방법으로는 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 장력을 가해주는 시험기에 중앙이 얇고 단면이 일정한 시험

* 전자부품연구원 나노메카트로닉스 연구센터

** 한국생산기술연구원 생산공정기술본부

*** 한양대학교 기계공학과

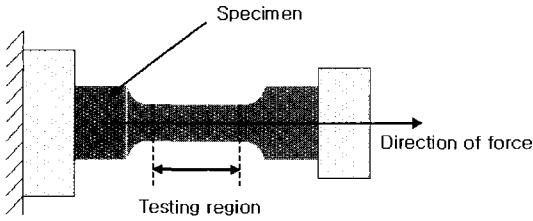


Fig. 1 Macro-tensile test specimen and testing method

시편을 부착하여 시편에 힘을 가해주는 방식을 사용하였다. 하지만 이러한 방식은 시편이 소형화 되면서 많은 문제점이 발생 되었다. (1) 시편이 작아지면서 변형의 크기도 작아져서 변형을 측정하는 게이지를 관찰하기가 어렵고, (2) 작은 misalign만 발생해도 원치 않는 방향으로 큰 bending이 발생하여 정작 원하는 방향으로의 변형만을 측정할 수 없으며, (3) 시험기에 시편을 장착하는데 물리적인 힘이 가해진다는 점 등이 대표적인 문제점으로 거론되고 있다.⁽¹⁾ 이러한 문제를 해결하기 위한 미세 시편의 인장시험 시편과 시험기가 널리 연구되고 있다. K. Sato 등⁽¹⁾은 시편의 장착 시 받게 되는 충격을 torsion bar를 이용하여 완화함으로써 시편의 안정성을 추구했다. 또한 H. Ogawa 등⁽²⁾은 시편을 인장시험기에 장착할 때까지 시편의 유동 축을 칩의 프레임에 고정시켜준 후 시편이 완전히 시험기에 장착된 후에 연결되어 있던 부분을 끊어주는 방법을 사용하여 이런 문제를 해결하려 했다. 그리고 T. Tsuchiya 등⁽³⁾은 시편 제조 후 기판에서 시편을 분리하지 않은 채로 SEM 챔버 안에서 정전기력을 이용한 인장 시험을 시행하여 실험과 동시에 관찰할 수 있는 방법을 채택하기도 하였다. 최근 Y. Isono 등⁽⁴⁾의 연구에서는 소형 인장 시험기를 AFM(Atomic Force Microscope)에 장착하여 in-situ 방식으로 변형을 측정하는 방법을 제시하였다.

본 논문에서는 인장 시편에 회절 marker를 형성하여 광학적으로 시편의 변형률을 측정한 Sharpe의 방법⁽⁵⁾에 대하여 marker의 옆면 경사각도(side wall angle)의 영향을 분석하고자 한다. 광학 센서를 사용하여 변형률을 측정하기 때문에 간섭무늬에서의 광 세기(intensity)를 측정하는 것이 중요한 변수가 될 수 있기 때문에 시편에 형성된 marker의 옆면 경사각도에 따른 광 세기의 영향을 평가하고자 하였다. 실험에 사용된 시편은 MEMS 공정을 이용하여 단결정 실리콘 SOI(Silicon-on-Insulator) 웨이퍼에 제조하였다. 인장시편 상부에 알루미늄 식각을

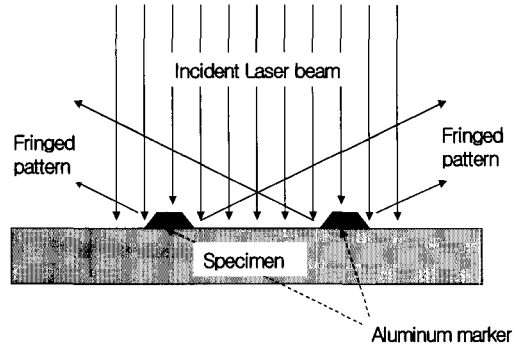


Fig. 2 Principle of ISDG measurement

통하여 형성시킨 미세 알루미늄 marker의 경우 일반적인 건식식각으로는 거의 80° 이상의 수직각도의 옆면 경사각만을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 이것과 비교할 수 있는 45° 정도의 경사면을 가진 미세 marker를 제조하기 위하여 습식 식각의 조건을 구하였고, 이 경우의 시편에 대하여 간섭무늬를 분석하였다.

2. 이론적 배경

시편의 변형을 Sharpe에 의해 제안된 Interferometric Strain/Displacement Gage(ISDG)⁽⁵⁾를 이용하여 측정하기 위하여 미세 marker를 제조하였다. 이것은 비 접촉 광학적 측정 방식으로 시편의 표면에 게이지의 길이에 해당하는 위치에 marker를 형성하여 빛의 회절과 간섭현상을 이용하여 변형, 변위를 측정하는 방법으로 1982년 논문⁽⁶⁾이 나온 이후 현재까지 응용되고 있다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이 인장시편 위에 제작된 두 개의 알루미늄 marker에 레이저가 입사되면, 두 개의 marker에서 각각 회절된 두 반사 빛이 간섭무늬를 만들게 된다. 이것은 이중슬릿(double-slit)과 동일한 효과를 발생하며, 시편이 인장을 일으키면 marker의 이동에 의해 이 간섭무늬가 움직이게 된다. 이때의 간섭무늬의 이동을 광센서로 읽어 들어 변형을 측정하게 된다. Sharpe 등⁽⁵⁾의 연구에 따르면 시편이 인장력을 받게 되면 회절 간섭무늬는 입사된 레이저 빔 방향으로 이동하게 된다. 강체(rigid body) 변형을 감안하여야 하기 때문에 두 개의 회절 패턴에 대해 관찰하고 그 평균을 내야한다. 이때 보강 간섭된 회절무늬를 이용하여 변형 (ϵ)을 측정하는 식은 다음과 같다.

$$\epsilon = \frac{\lambda}{2d_0} \left(\frac{\Delta m_1}{\sin \alpha_1} + \frac{\Delta m_2}{\sin \alpha_2} \right) \quad (1)$$

여기서 Δm 은 패턴 1과 2의 회절 무늬의 상대적인 이동을 의미하고 d_0 는 인장력을 받지 않았을 때의 게이지의 길이이며 λ 는 레이저의 파장, α_0 는 입사 빔과 회절 빔 사이의 각도이다. 여기서 α_0 라고 표현한 이유는 동일한 위치에 놓인 광센서 어레이에서 회절간섭 무늬를 읽기 때문이다. 따라서 $\alpha_0 = \alpha_1$, $\alpha_0 = \alpha_2$ 라고 할 수 있다. 이상과 같은 이론적 배경으로부터 Sharpe 등이 얻은 회절 및 간섭무늬의 강도는 Fig. 3과 같다.

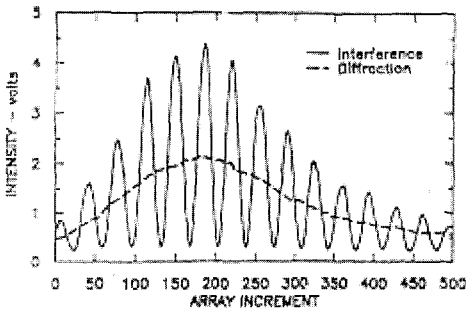


Fig. 3 Intensity of the diffraction and interference patterns

3. 실험 방법

3.1 알루미늄 marker 제조 및 회절 패턴 확인 실험

알루미늄 marker의 제조 조건을 확인하는 실험에는 500 μ m 두께의 단결정 실리콘 웨이퍼가 사용되었고, 그 위에 200nm의 알루미늄을 thermal evaporator로 증착하였다. 알루미늄의 에칭은 습식 에칭 방법을 사용하였으며, 이때 쓰인 용액은 TDI Union 사의 Al Etch-II이었다. 알루미늄 marker의 side wall 각도를 확인하기 위해 SEM을 이용하였고, 알루미늄 marker에 의해 회절 패턴이 형성되는지 확인하기 위하여 파장이 633nm인 He-Ne 레이저가 marker에 조사되었다. 반투명 스크린을 이용하여 회절 패턴을 확인할 수 있었다.

3.2 단결정 실리콘 인장시편 제조

앞서 실험을 통해 확인된 알루미늄 marker 제조 방법을 포함하여 실리콘 단결정을 이용한 마이크로 인장시편을 제조하였다. Fig. 4에 인장강도 특성 평가에 사용한

시편의 모양을 나타내었다. 시편 제작에 사용된 웨이퍼는 상부 실리콘 두께 7 μ m, 하부 실리콘 두께 230 μ m이고, 중간층 SiO₂의 두께는 2 μ m인 SOI(Silicon-on-Insulator) 웨이퍼였다. 시편에서 인장시험 영역의 폭은 50~350 μ m, 길이는 2mm이었다. 시편 칩을 인장시험기에 장착할 때까지 시험 시편을 보호하기 위해 supporting column을 두었다. 이 부분은 최종적으로 시험기에 장착된 후 제거된다. Fig. 5에 SOI 웨이퍼를 이용한 단결정 실리콘 인장시편 제조 과정을 나타내었다. SOI 웨이퍼를 사용한 주된 이유는 하부 실리콘 deep RIE 공정 중에 인장 시험 영역인 상부 실리콘이 과에칭되는 것을 방지하기 위한 것이다. 준비된 SOI 웨이퍼에 알루미늄을 200nm 두께로 증착한 후 습식 식각을 이용하여 marker이 제작되었다. 실리콘의 에칭에는 deep RIE가 사용되었다. 최종적으로 남은 SiO₂ 막은 RIE를 이용하여 제거되었다.

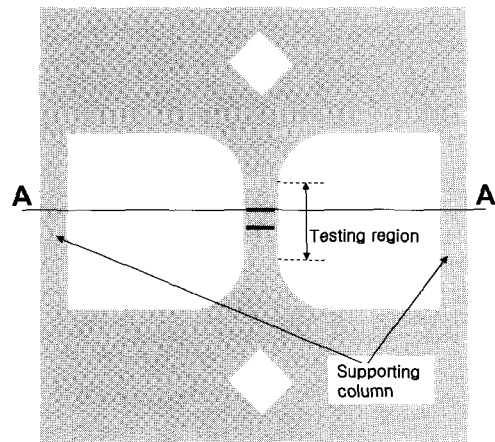


Fig. 4 Schematic drawing of micro tensile test specimen

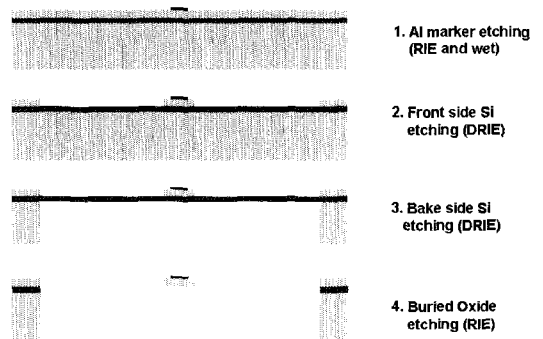


Fig. 5 Fabrication flow of micro tensile test specimen (Cross-section of A-A in Fig. 3)

4. 결과 및 토의

4.1 알루미늄 marker side wall 각도

Fig. 6에 습식식각 방법을 이용하여 제조된 알루미늄 marker의 SEM 사진을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 side wall의 각도는 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 이었다. Fig. 7은 알루미늄 marker에 He-Ne 레이저를 조사하여 회절 파형을 볼 수 있는 간단한 장치의 구성도를 나타내었다. Fig. 8은 Fig. 7의 장치를 이용하여 확인된 회절 간섭된 패턴을 디지털 카메라로 찍은 화면을 보여주고 있다.

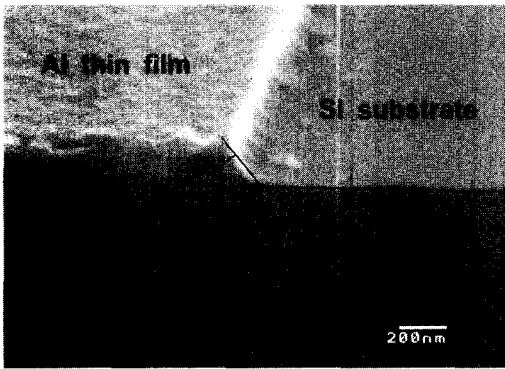


Fig. 6 SEM image of cross-section of fabricated aluminum marker by wet etching process

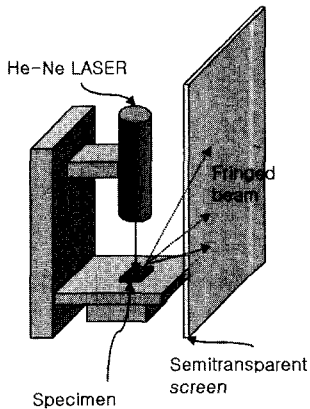


Fig. 7 Simple checking system of fringed pattern

Fig. 9는 중심의 보강간섭 무늬로부터 첫 번째 떨어진 위치에서의 보강간섭 무늬를 확대한 사진이다. 변형률 측정에 marker를 사용하는 본 방법은 이론적으로는 더블 슬릿에 의한 간섭과 동일한 현상을 보여주지만, 본 시편의 경우 중심의 보강간섭 무늬는 수직으로 반사된 레이



Fig. 8 Image of fringed pattern projected at semitransparent screen

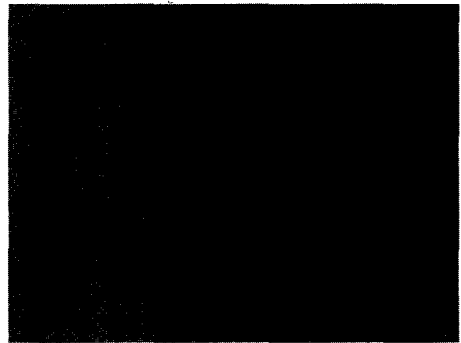


Fig. 9 The first fringed pattern from the central diffraction peak

저 광과 겹치게 되어 실제로 그 위치를 측정할 수 없게 된다. 따라서 첫 번째 떨어진 보강간섭 무늬를 측정하는 것이 가장 타당하다. 이 경우 일반적으로 아주 작지 않은 폭을 가진 슬릿에서는 광 세기가 현저히 줄어들게 되므로, 본 알루미늄 marker에서는 그 두께와 옆면 경사각이 중요한 변수가 될 것이라는 것을 예측할 수 있다.

4.2 인장시편의 제조

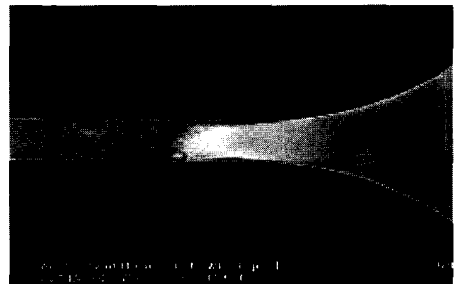


Fig. 10 SEM image of $7\mu\text{m}$ thickness bridge of micro tensile test specimen

Fig. 5와 같은 MEMS 공정과 Fig. 6과 같은 습식식각에 의한 알루미늄 marker 제조 방법을 이용하여, 궁극적인 Fig. 10과 같은 인장시편이 제조되었다. 사진은 인장 시험 시 인장력을 받게 되는 $7\mu\text{m}$ 두께의 bridge 부분을 위에서 관찰한 SEM 이미지이다.

5. 결 론

MEMS공정을 이용하여 인장시험 영역의 두께 $7\mu\text{m}$, 길이 2mm , 폭 $50\mu\text{m}\sim 350\mu\text{m}$ 인 단결정 실리콘 인장 시편이 제조되었다. 조사된 레이저 빔과의 간섭무늬를 유도하여 인장에 의한 변형률을 측정하고자 인장시편 상부에 알루미늄 습식식각을 이용하여, 폭 $5\mu\text{m}$, 길이 $30\mu\text{m}\sim 180\mu\text{m}$ 그리고, 두께 200nm 인 미세 marker를 인장시편 상에 형성시켰다. 제조된 알루미늄 marker의 side wall 각도는 $45^\circ\sim 50^\circ$ 이었다. 633nm 의 파장을 갖는 He-Ne 레이저를 marker에 조사하여 회절 패턴을 확인하였다. 회절 패턴은 반투명 스크린을 간단히 제작하여 확인되었다. 차후 RIE 건식식각 공정을 이용한 80° 이상의 옆면 경사각을 갖는 알루미늄 marker가 형성된 인장시편을 제조하여 미세구조, 광학적 및 기계적 특성에 대해 습식 식각된 결과와 비교, 분석이 수행되어야 할 것으로 사료되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광열유체 마이크로부품 기술개발 사업의 세부과제로서 수행중이며 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

- (1) K. Sato, M. Shikida, M. Yamasaki, and T. Yoshioka, 1996, "Micro tensile-test system fabricated on a single crystal silicon chip", IEEE proceedings of MEMS '96, pp. 360~364.
- (2) H. Ogawa, K. Suzuki, S. Kaneko, Y. Nakano, Y. Ishikawa, and T. Kitahara, 1997, "Measurements of mechanical properties of microfabricated thin films" Proc. IEEE 10th annual international workshop on micro electro mechanical systems, pp. 430~435.
- (3) T. Tsuchiya, O. Tabata, J. Sakata, and Y. Taga, 1998, "Specimen size effect on tensile strength of surface -micromachined polycrystalline silicon thin films", J. Microelectromechanical Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 106~113.
- (4) Y. Isono, T. Namazu, N. Terayama, and T. Tanaka, 2002, "Mechanical characterization of sub-micrometer DLC films by AFM tensile testing for surface modification in MEMS" Proc. of the 15th IEEE International Conference on MEMS 2002, pp. 431~434.
- (5) W. Sharpe Jr., B. Yuan, and R. Edwards, 1997, "A new technique for measuring the mechanical properties of thin films", J. Microelectromechanical Systems, Vol. 6, No. 3, pp. 193~199.
- (6) W. Sharpe Jr., 1982, "Applications of the interferometric strain /displacement gage", Opt. Eng., Vol. 21, No. 3, pp. 483~488.