

실리콘 탄성굽힘체를 이용한 나노압입시험기 힘교정 기법 개발

A Force Calibration of Nanoindentation System by a Silicon Elastic Bending Structure

*#이윤희¹, 한준희¹, 홍성구¹, 허용학¹

*#Y.-H. Lee(uni44@kriss.re.kr)¹, J.H. Hahn¹, S.G. Hong¹ and Y.-H. Huh¹

¹한국표준과학연구원 재료측정표준센터

Key words : Nanoindentation, Force calibration, Elastic bending structure, Stopper

1. 서론

nm 두께의 박막증착기술이 보편화되면서 nm 수준의 압입변형을 유발할 수 있는 예리한 압입자와 mN 수준의 하중을 인가할 수 있는 나노압입시험(nanoindentation test)이 등장하게 되었다. 나노압입시험은 액추에이터에서 발생시킨 하중을 예리한 삼각뿔 압입자에 인가하고, 변위센서를 이용하여 압입자의 표면 침투변위를 연속적으로 측정함으로써 하중-변위곡선(load-displacement curve)를 시험결과로 획득한다는 점이다. 접촉경도는 종래의 경도와 유사하게 최대하중을 압입자와 시험편 표면 간의 접촉면적으로 나눈 압력으로 정의된다. 따라서 접촉경도의 신뢰성있는 측정을 위해서는 접촉면적의 정확한 분석과 함께 액추에이터에서 발생한 힘의 정밀 교정이 필요하다.

나노압입시험기의 힘 교정은 크게 두 가지 방식으로 진행될 수 있다. 마이크로밸런스나 같은 힘 센서를 이용한 직접교정법은 간단하고 고정도의 교정이 가능한 장점이 있다. 그러나 나노압입시험기의 시험편 탑재 공간 내에 상용 힘 센서를 위치시켜야 하는 공간적인 한계가 있다는 문제점이 있다. 두 번째로는 강성이 확인된 탄성구조체를 이용하는 간접적인 방법이 있다. Fruhauf 등은¹ 실리콘 판을 적층한 구조물을 만들어 나노압입시험기의 힘 교정에 적용하였다. 즉 틈새간격을 알고 있는 실리콘 구조물의 상판 중심에 압입하중을 인가하면 탄성체인 실리콘 판이 휘어지고 사이 간격에 해당하는 변형 이후에 두 판의 접촉으로 인해 급격

한 하중의 증가가 발생한다. 실리콘 판의 탄성계수와 두 판 사이의 간격을 곱하게 되면 두 판이 맞닿는데 필요한 압입하중의 계산이 가능하며, 이 하중을 이용하여 나노압입시험기의 액추에이터에서 발생한 하중을 교정하게 된다.

본 연구에서는 실리콘 탄성 굽힘체를 일정 간격의 스톱퍼(stopper)를 형성한 강성 다이 위에 올려두고 중심부에 압입하중을 인가하여 굽힘을 유발하는 방법으로 수정하였다. 강성다이 위에 두께와 폭을 달리한 다양한 실리콘 탄성 굽힘체를 위치시킴으로써 복잡한 구조물 형성없이 다양한 하중 범위에서 힘 교정이 가능한 장점이 있고, 또한 굽힘체의 양 단이 구속되지 않기 때문에 선행연구¹에서 발생할 수 있는 교정 오차를 최소화할 수 있을 것으로 판단되었다. 상용 나노압입시험기에 힘교정용 탄성 굽힘체를 장착하였고, 압입싸이클을 진행시킴으로써 굽힘체와 스톱퍼가 맞닿는 특징점을 확인할 수 있었고, 실리콘 소재의 이론적인 탄성계수를 이용하여 압입자에서 인가된 하중과의 차이를 검토하였다. 이로부터 탄성굽힘체를 이용한 나노압입 시험기용 간접 힘교정의 타당성을 살펴보았다.

2. 실험방법

힘 교정용 탄성 굽힘체는 {100} 면의 실리콘 웨이퍼를 양면 폴리싱한 이후에 <011> 방향에 평행하게 가공한 빔 형태로 만들었다. 2 mm × 30 mm의 폭과 길이를 갖고, 빔 두께가 450 μm인 굽힘체의 중심부를 최대 발생하중 980 mN을 갖는 MZT-512

(Mitutoyo Corp., Japan) 나노압입시험기로 눌러 굽힘변형을 유발하였다. 탄성 굽힘체를 올려놓기 위한 스톱퍼 구조물은 양쪽 지지부에 비해 중앙 지지부의 높이가 25 μm 낮게 설계된 WC-Co 재질의 구조물을 가공하였다. 양쪽 지지부 및 중앙부는 3 mm의 폭을 형성하여 굽힘체와 스톱퍼가 안정적으로 맞닿을 수 있도록 하였다. 굽힘체의 중앙부에 압입하중을 인가하여 압입하중 인가곡선을 획득하면 초기 탄성 굽힘체의 자체굽힘 변형이 일어나고, 굽힘체와 스톱퍼가 맞닿는 지점에서 급격한 압입하중의 증가가 발생하는 특이점이 형성된다. 이와같이 압입하중 증가거동의 급격한 변화가 발생하는 지점의 압입하중을 실리콘 굽힘체의 탄성계수를 고려한 계산하중과 비교함으로써 힘교정을 진행하였다.

3. 결과 및 토론

나노압입시험기에서 발생시킨 하중을 굽힘체의 중심부에 인가함으로써 빔의 굽힘을 유발하였다. Fig. 1에서 살펴볼 수 있는 것처럼 굽힘체의 탄성특성에 의존하는 선형적인 압입하중-틈새거리 관계가 확인되었으며, 이후 굽힘체와 스톱퍼가 맞닿음으로 인해 급격한 하중의 증가를 확인할 수 있었다. 예상했던 것처럼 틈새거리가 25.12 μm 정도에 도달했을 때 굽힘체와 스톱퍼의 접촉이 발생했으며, 압입하중은 118.82 mN으로 측정되었다. 즉 삼각뿔 압입자의 굽힘체로의 침투변위를 무시한다면 118.82 mN의 압입하중은 굽힘체의 굽힘변형 유발에 모두 사용되었다고 말할 수 있다.

<110> 방향에 평행한 실리콘 소재의 탄성계수는 169 GPa로 주어지며, 굽힘체를 지지하는 유효폭은 24 mm로 확인되었다. 굽힘체의 굽힘거동을 나타내는 Eq. (1)에 굽힘체 형상과 특이점에 도달했을 때의 틈새거리를 대입하게 되면 특이점에 도달할 때까지 굽힘체의 굽힘에 필요한 하중은 111.93 mN으로 확인되었다. 즉 굽힘체의 탄성굽힘에 필요한 하중이 절대값을 갖는다면 MZT-512 나노압입시험기의 경우 110 mN 부근의 하중을 약 6.1% 높게 측정하고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 간접교정법의 경우 다양한 단면 규모를 갖는 실리콘 굽힘 구조물을 제작하여 측정함으로써 나노압입시험기에서 유발할 수 있는 전체 하중영역에

대한 포괄적인 힘 교정이 가능할 것으로 판단된다.

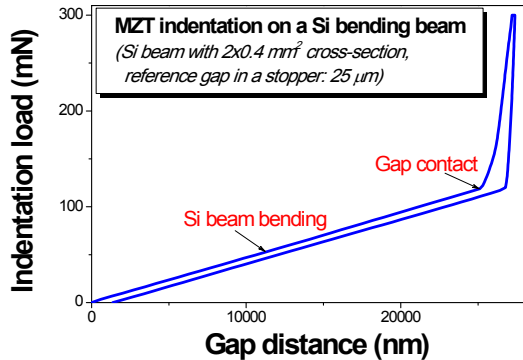


Fig. 1 Si-beam bending and gap contact by the contact load generated by the nanoindentation system

4. 결론

실리콘 탄성 굽힘체를 이용한 나노압입시험기의 힘교정이 시도되었다. 굽힘체와 일정한 틈새거리를 갖는 스톱퍼를 힘의 간접교정장치로 이용함으로써 실리콘 구조물의 탄성굽힘 유발에 필요한 하중을 이론적으로 구할 수 있었고, 이 값과 굽힘체의 나노압입시험에서 발생하는 특이점에 해당하는 압입하중을 비교함으로써 정량적인 힘 비교교정이 가능하였다. 이러한 간접 교정법의 경우 마이크로밸런스 기반의 직접 교정기술과의 상호비교를 통해 교정의 신뢰성을 높이는 심층적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 2011년도 한국표준과학연구원 주요사업(전략소재 측정표준 확립, 11011034)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Fruhauf, J., Gartner, E., Herrmann, K., Menelao, F., Schwenk, D., Chudoba, T., and Vollmar, H., "Calibration of Instruments for Hardness Testing by Use of a Standard," *Hardmeko* 2007, 141-145, 2007.