나노 압입시험법을 이용한 DLC 박막의 잔류응력 평가
(Evaluation of Residual Stress in Diamond-Like Carbon Film Using Nanoindentation Technique)

서울대학교 이윤희, 권동일
(주) 프론틱스 최 열, 장재일

1. 서론 박막의 잔류응력은 전자 및 반도체 소자의 생산 수율 및 사용 중 신뢰성이 크게 저하시킨다. 이에 따라 잔류응력의 측정 및 제어에 대한 연구가 부각되었다. 박막 잔류응력은 X-선 회절 및 곡률측정법으로 측정되었다. 그러나, X-선 회절법은 투과강도 조절 및 시험과정의 복잡성에 문제가 있으며, 곡률측정법은 수십 mm의 장범위에 걸친 평균 잔류응력을 평가하게 된다는 문제점이 있다. 따라서, 비파괴·국소 잔류응력 평가법이 필요하게 되었으며, 본 연구에서는 기존의 박막 기계적 물성 평가법으로 적용되어 온 나노 압입시험법을 이용하여 박막의 잔류응력을 평가하고자 하였다.

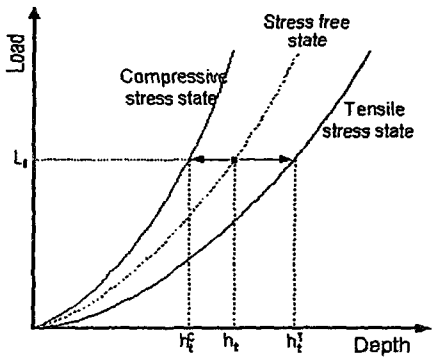

Fig. 1 Change in indentation depth for an applied load by stress states.

서로 다른 잔류응력 상태에 동일한 조건으로 나노 압입시험을 행할 때 나타나는 압입하중 인가곡선을 그림 1에 나타내었다. 동일한 압입하중 L_0를 인가하면, 인장 응력상태에서는 최대 압입깊이가 h_t^T로 무응력 상태의 h_t에 비해 증가한다. 압입하중을 유지하면서 인장 잔류응력을 제거하면 잔류응력 상태의 압입깊이인 h_t^T는 무응력 상태의 압입깊이인 h_t로 완화된다. 박막 내의 잔류응력 제거에 대응하여 완화된 최대압입깊이인 $h_t^T - h_t$는 기존의 평면펀치 이론을 이용함으로써, 잔류응력에 의해 나타나는 압입하중의 감소항으로 나타난다. 잔류응력에 의한 압입하중의 감소를 압입자 접촉면적으로 나눔으로써 정량적인 잔류응력 평가가 가능하다.

2. 실험방법 화학진공 증착 방법으로 제작된 0.6 ㎛ 두께 DLC 박막의 잔류응력을 나노 압입시험법과 곡률법을 이용하여 평가하였다. 증착 상태의 잔류응력이 걸린 박막과 비교를 위한 무응력 상태의 자유막은 Si 기판의 습식에칭을 통하여 형성되었다. 2000 μN의 압입하중으로 10회 이상 나노 압입시험을 행하여 각 응력 상태를 대표하는 압입하중 인가곡선을 얻었다.

3. 실험결과 잔류응력이 걸린 증착박막에서 얻어진 압입하중 인가곡선은 무응력 상태의 자유막에 비해 왼쪽으로 치우쳐 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 나노 압입시험의 이론적 모델링을 통해 분석된 잔류응력값은 -3.735±0.11GPa로 곡률법을 통해 측정된 -3.8±0.5GPa과 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

4. 참고문헌

1. 이윤희, 권동일, 대한금속·재료학회지, 39권 (2001) in press
2. Tsui, T. Y., Oliver, W. C. and Pharr, G. M., J. Mater. Res., Vol. 11, 752 (1996)
3. Suresh, S. and Giannakopoulos, A. E., Acta Mater., Vol. 46, 5755 (1998)