

극미세 점 구조체 제작을 위한 열간나노압입 공정에서의 평판형 COP 소재의 기계적 물성치 평가

Evaluation Mechanical Property of Plate COP in Thermal Nanoindentation for Hyperfine pit structure Fabrication

*정유나¹, #강충길¹

*Y. N. Joung¹, #C. G. Kang(cgkang@pusan.ac.kr)¹

¹ 부산대학교 기계공학부

Key words : NanoIndentation, Elastic Modulus, Indentation Hardness, COP(Cyclo-olefin Polymer)

1. 서론

광 리소그래피 공정을 대체 또는 보완하기 위한 다양한 나노프로그 기반 리소그래피 기술들이 연구되고 있으며 그 중 나노임프린트 리소그래피공정에 대한 수요는 디스플레이용 필름이나 바이오칩을 중심으로 발생하여 왔으며 소자의 고집적화와 비용절감에 적극적인 반도체, LCD 공정혁신의 주요수단으로 빠르게 확대되고 있다. 또한 AFM, Nanoindenter 등을 이용한 나노프로그 기반 리소그래피 기술들이 연구되고 있으며 나노압입공정은 초기 장비설치 및 장비가동에 드는 비용이 매우 저렴하고, 공정이 간단하며, 소재의 선택이 자유롭다는 장점이 있어 널리 연구되고 있다.¹⁻³

2004년 제온(ZEON)사에서 개발한 COP(Cyclo-olefin Polymer)는 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA)에 비하여 내열성 및 빛 투과율이 우수한 소재이다. 투명도가 높고 불순물질과 수분 투과성이 낮으며 유리에 필적하는 강도를 가지고 있어 의학용 약병, 주사기, 광학 실험용 cell에도 이용된다. 반도체와 LCD, 광학 필름등에도 사용된다.⁴

본 연구에서는 열간 극미세점 구조체 제작에 필요한 D/B 구축을 위하여 나노인덴터를 이용하여 유리전이온도 근처에서의 COP 소재의 기계적 특성을 알아보는 실험을 실시하였다. 최대압입하중 및 온도 변화가 소재의 특성에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

2. 실험방법 및 조건

2.1 장비 및 소재

나노압입실험을 위한 장비로는 미국 Agilent Technologies에서 제작된 Nanoindenter XP가 사용되었다. 압입자로는 끝나 반경이 >20nm로 알려진 다이아몬드 베르코비치(Berkovich)압자가 사용되었다. Fig. 1는 본 연구에 사용된 Berkovich 팁에 대한 형상정보를 나타내고 있다.

실험을 위한 평판형 COP 소재는 두께 1 mm, 15×15 mm²를 사용하였다. 소재의 표면조도는 0.981nm로 측정되었다.

2.2 실험 조건의 설정

Fig. 2는 열간나노압입실험의 개략도를 나타내고 있다. Heating System을 이용하여 원하는 온도로 가열된 스테이지에 시편을 고정시킨 후 인덴터 장비에 장착된 tip을 이용하여 molding과 demolding을 반복 수행하여 시편의 열간 물성치 측정을 하는 동시에 패턴 제작을 하게 된다.

열간에서의 COP 소재 기계적 특성을 알아보기 위해 유리전이온도(138°C) 근처에서 실험을 실시하였으며, 또한 하중을 제어하여 온도 및 하중의 변화가 COP 소재의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

나노압입실험은 120, 130, 140°C에서 6번 압입실험을 실시하였으며, 최대 및 최소값을 제외한 나머지 4번의 압입 실험 결과값을 사용하였다. 하중의 변화가 고온에서 소재에 미치는 영향을 조사하기 위해 각각의 온도조건에서 1, 5,

10mN로 하중을 제어하여 실험을 실시하였다.

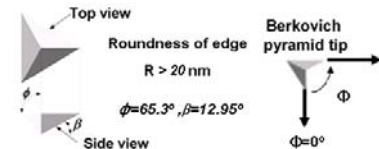


Fig. 1 Geometric of Berkovich tip

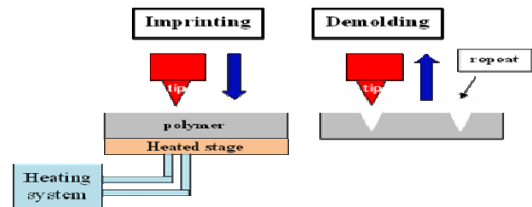


Fig. 2 Layout of the thermal nano-indentation process on polymer surface for hyperfine pit fabrication

3. 결과 및 토론

점탄성 소재인 COP는 온도 및 하중조건을 제어하였을 때, 온도와 하중이 증가할수록 기계적 물성치는 감소할 것이라 판단된다.

Fig. 3~5는 온도에 따른 압입하중 조건에서의 압입하중과 변위 그래프를 나타내고 있다.

Fig. 3은 120°C 온도조건에서 1, 5, 10mN의 압입하중을 가하였을 때 최대압입깊이의 변화를 보여준다. 압입하중이 증가할수록 최대압입깊이는 567, 1411, 2172nm로 증가하는 현상을 볼 수 있었다. 또한 Fig. 4와 5에서는 각각 130, 140°C의 온도 조건에서 같은 압입하중제어 조건을 가하였을 때, 130°C에서 최대압입깊이는 604, 1440, 2217nm, 140°C에서의 최대압입깊이는 631, 1480, 2311nm로 나타났다. 그리고 동일한 압입하중에서 온도가 증가할수록 최대압입깊이는 증가하였다.

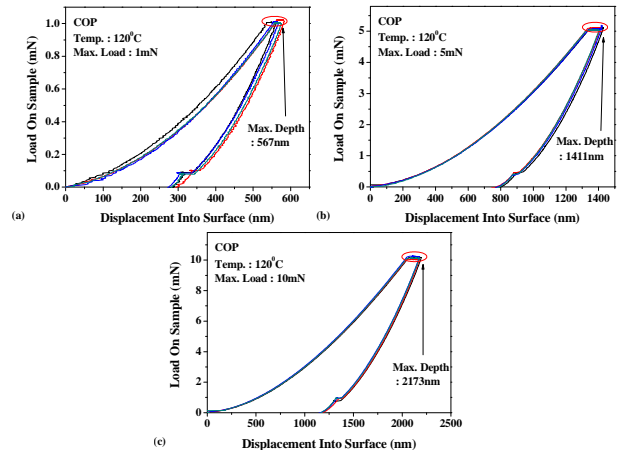


Fig. 3 Load-Displacement Curves about COP at 120°C (a) Max. Load : 1mN (b) Max. Load : 5mN (c) Max. Load : 10mN

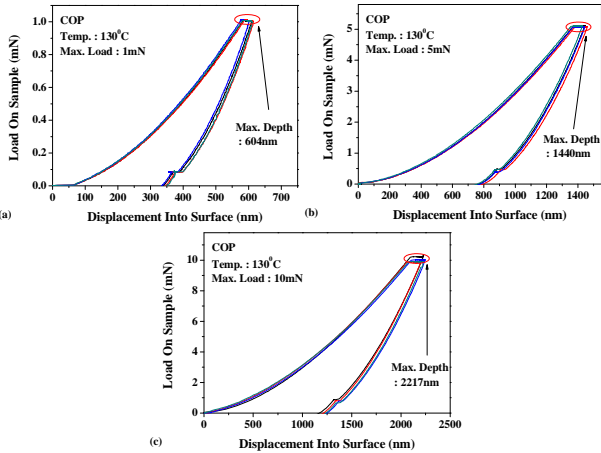


Fig. 4 Load-Displacement Curves about COP at 130°C (a) Max. Load : 1mN (b) Max. Load : 5mN (c) Max. Load : 10mN

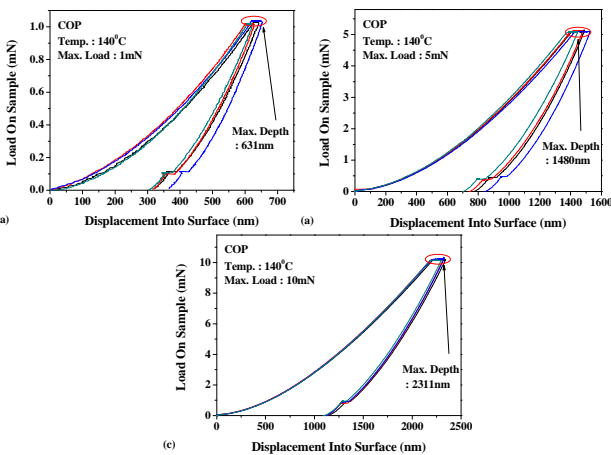


Fig. 5 Load-Displacement Curves about COP at 140°C (a) Max. Load : 1mN (b) Max. Load : 5mN (c) Max. Load : 10mN

COP 소재의 유리전이온도 근처에서 최대압입하중의 변화가 경도와 탄성계수의 측정값에 미치는 영향을 조사하였다. 탄성계수는 Sneddon Stiffness Equation (식(1))에 형상 보정상수 β 를 곱한 식(2) 로부터 계산된다.

$$S = \frac{dP}{dh} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{A_c} E_r \quad (1)$$

$$E_r = \frac{1}{\beta} \frac{\sqrt{\pi} S}{2 A_c} \quad (2)$$

본 연구에서는 베르코비치팁이 사용되었으므로 압자형상보정상수 β 는 1.034 이다. E_r 은 환산탄성 계수로 시편의 탄성계수 E_s 와 압자의 탄성계수 E_i 는 식(3)과 같은 관계가 있다.

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1-\nu_s^2)}{E_s} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i} \quad (3)$$

여기서 V_s 와 V_i 는 각각 시편과 압자의 프와송비를 나타내며, 다이아몬드 압자의 E_i 와 V_i 는 각각 1141GPa 과 0.07 이다

시편의 경도는 압입하중과 접촉투영면적 (A_c)으로부터 계산할 수 있으면 식(4)과 같다.

$$H = \frac{P}{A_c} \quad (4)$$

식 (2)-(4) 로부터 접촉깊이가 증가할수록 접촉투영면적이 증가하므로, 경도 및 탄성계수가 감소함을 예측할 수 있다. Fig. 6 은 온도변화에 따른 경도 및 탄성계수를 나타내고 있다.

120°C 에서 압입하중이 증가할수록 경도는 0.196, 0.155, 0.135 GPa, 130°C 는 0.163, 0.153, 0.131GPa, 140°C 는 0.163, 0.149, 0.134 GPa 이었으며, 탄성계수는 압입하중이 증가할수록 120°C 에서 2.25, 1.94, 1.55 GPa, 130°C 는 2.18, 1.78, 1.41 GPa, 140°C 는 1.83, 1.63, 1.18 GPa 로 압입하중의 증가에 따라 경도 및 탄성계수는 감소하며, 온도가 증가할수록 경도 및 탄성계수는 감소하는 경향을 보인다.

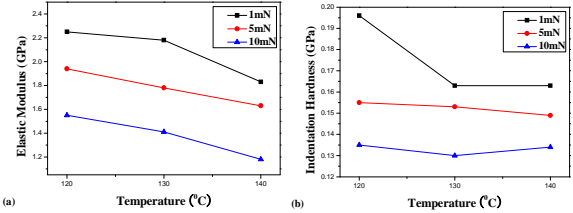


Fig. 6 Variation of the Modulus and Hardness with Increasing Temperature (a) Elastic Modulus (b) Indentation Hardness

본 연구에서는 나노인텐터를 이용하여 COP 의 압입하중 및 온도 변화에 따른 기계적 특성을 조사하였다. 압입하중 및 온도가 증가할수록 경도 및 탄성계수는 감소하는 경향이 보였으나 이것을 증명하기엔 부족한 점이 보인다. 그러므로 제어조건을 변화하여 추가실험을 수행할 것이며, 또한 COP 와 같은 점탄성 소재의 경우 열간에서의 기계적 특성은 압입하중만이 영향을 미치는 것이 아니라 압입유지 시간 이나 시편의 표면조도, 하중인가/제거 속도와 같은 조건에 의해 영향을 받는다.⁵

4. 결론

본 연구는 나노인텐터를 사용하여 고온에서 COP 소재의 기계적 특성을 평가하였다. 수행한 결과를 다음과 같이 정리하였다.

1. 압입하중 및 온도가 증가할수록 최대압입깊이는 증가하였다.
2. 최대압입깊이가 증가할수록 경도 및 탄성계수값이 감소하는 경향이 보였다. 최대압입하중을 더 크게 증가시켰을 때의 고온에서 COP 소재의 기계적 특성을 알아보기 위한 추가 실험이 요구된다.

후기

이 논문은 2008 년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-313-D00053)

참고문헌

1. D. Hardt, B. Ganesan, W. Qi, Dirckx, M. and A. Rzepniewski, "Process Control in Micro-Embossing – A Review", Singapore MIT Alliance Programme (SMA) in Innovation in Manufacturing Systems and Technology (IMST), 2004.
2. C.G. Choi, "Fabrication of optical waveguides in thermosetting polymers using hot embossing", J. Micromech. Microeng., **14**, 945-949, 2004.
3. W.S. Kim, K.B. Yoon and B.S. Bae, "Nanopatterning of photonic crystals with a photocurable silica-titania organic-inorganic hybrid material by a UV-based nanoimprint technique," J. Mater. Chem., **15**,4535-4539, 2005.
4. Masahiro Yamazaki, "Industrialization and application development of cyclo-olefin polymer," Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, **213**,81-87, 2004.
5. 윤성원, 김현일, 강충길, " 극미세 점 구조체 제작을 위한 나노압입 공정에서 PMMA 의 시간의존적 변형거동에 관한 연구," 한국정밀공학회지, **22**, 62-70,2005