

몰드형상에 따른 나노임프린트 점탄성 유한요소해석

Viscoelastic Finite Element Analysis of Nanoimprint Lithography According to Mold Shape

*전상범¹, #김국일², 김남용³

*S. B. Jun¹, #K. W. Kim(kimkug1@sch.ac.kr)², N. W. Kim³

¹ 순천향대학교 기계공학과 대학원, ² 순천향대학교 기계공학과, ³ 동양미래대학 기계공학과

Key words : Thermal nanoimprint lithography, Viscoelastic behavior, Stress relaxation

1. 서론

나노임프린트 리소그래피(Nanoimprint Lithography, NIL)공정은 나노미터 스케일의 패턴을 제작하는 공정으로서, 1990년대 중반 Chou 등에 의해 최초로 제안되었다.¹⁾ 이 방법은 공정의 단순성에 기반하여, 고해상도의 패턴을 저가격으로 대량 생산할 수 있는 가능성이 매우 높기 때문에 반도체 및 디스플레이 산업에서 기존 고가의 포토 리소그래피공정을 대체할 수 있는 유력한 대안으로 부각되고 있다.

본 연구는 나노임프린트 공정에서 폴리머 레진을 점탄성체로 가정하고, 몰드형상에 따른 충전 공정을 유한요소해석 하였다..

2. 점탄성 폴리머 재료

나노임프린트(NIL)에서 레지스트로 사용되는 열가소성 폴리머 레진의 온도에 따른 거동은 Fig. 1 과 같이 세 개의 구간으로 분류할 수 있다. T_g 이하는 유리상태(Glassy State)로서 탄성계수가 일정한 이상적인 탄성체로 가정되며, T_g 이상에서는 고무 상태(Rubbery State)로서 온도가 높아짐에 따라 탄성계수와 점성은 급격히 감소되면 변형은 비가역성을 띄게 되어, 점탄성체로 가정 될 수 있다. 고무 상태에서 온도가 더욱 높아져 유동온도(Flow Temperature, T_f) 이상의 유동 상태(Flow State)가 되면, 응력 완화가 매우 빨라져 탄성효과가 거의 사라지며 따라서 폴리머의 거동은 유체와 같아진다. 본 논문에서는 일반적인 공정온도에서 나노임프린트(NIL)의 폴리머 레지스트의 거동을 해석하였으며, 해석상의 온도 범위는 $T_g < T < T_g + 80^\circ\text{C}$ 온도 범위는 $T_g < T < T_g + 80^\circ\text{C}$ 의 온도 범위 ($T_g =$

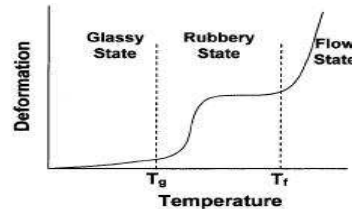


Fig. 1. Typical deformation behavior of thermal plastic polymer as a function of temperature

109°C) 즉, 고무상태(Rubbery State)를 고려하므로 폴리머 레지스트를 점탄성체로 가정 하였다.

폴리머의 점탄성 거동은 McLoughlin 과 Tobolsky 의 측정결과에 따른 PMMA 의 마스터 응력완화 곡선을 이용하여 Collocation Method 를 통해 Curve Fitting 하였다. Table 1 에 10 차의 Prony Series 계수를 계산하여 나타내었다.^{2,3)} Fig. 2 는 구해진 Prony Series 를 이용하여 구한 전단 응력 완화 곡선을 나타낸 것이다. 여기서 G_0 는 2.04 MPa 이다.⁴⁾

Table 1. Prony series constants for the shear stress relaxation functions of PMMA

N	(sec)	(MPa)
1	7.92E-05	1.40E+02
2	6.12E-03	2.25E+02
3	1.79E-01	1.71E+02
4	2.67E+00	9.05E+01
5	2.75E+01	2.63E+01
6	2.16E+02	8.55E+00
7	2.49E+03	2.13E+00
8	4.89E+04	6.68E-01
9	1.94E+06	2.71E-01
10	1.39E+08	1.02E-01

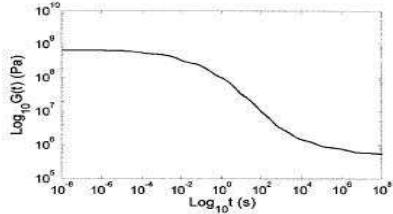


Fig. 2. Master curve for polymethyl methacrylate (PMMA)

3. 유한요소모델

몰드가 한 방향으로 일정한 형상을 가지는 사각평판인 경우 그 방향에 수직한 단면에 대해서 2 차원 해석이 가능하다. 몰드가 규칙적으로 배열되어 있다고 가정하고 대칭성을 고려하면 Fig. 3 와 같은 단위형상을 갖는 2 차원 유한요소모델을 생각할 수 있다. 레지스트의 초기 두께는 $2h_0$, 몰드의 돌출부 너비 및 높이는 각각 $2S$ 와 h_m , 중공부 너비는 $2W$ 이다. 100nm 기본수치로 고정하고, 패턴의 밀도를 나타내는 Duty Ratio(DR) 및 패턴 갭이에 대한 폴리머의 초기 두께비를 나타내는 Thickness-Ratio(TR)을 매개변수로 정의 하였다. Thermal NIL 에 사용되는 몰드는 대개 Quartz 등의 강성이 높은 재료로 제작되어 있다. 이에 따라 몰드는 강체면으로 가정하였다. 해석에는 ABAQUS 6.8-1 가 사용되었다.

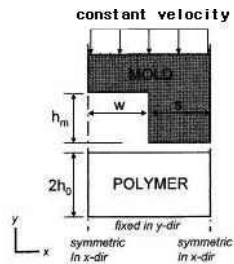


Fig. 3. Computational domain and boundary conditions

4. 해석

몰드형상을 3 가지로 나누어 각각의 패턴 밀도를(DR= 0.25, 0.5, 0.75)로 하고 공통적으로 적용된 조건(TR=1, $v=0.25\text{nm/s}$, $s=200\text{s}$, $T=T_g+80^\circ\text{C}$)에서 충전율을 100%로 했을 때

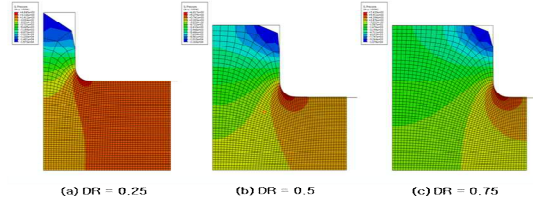


Fig. 4. Deformation profiles of polymer resist ($v = 0.25\text{nm/s}$, $TR=1$, $T= T_g+80^\circ\text{C}$)

Fig. 4 에서 보이는 바와 같이 (a) DR=0.25 에서 충전율이 FR=4 (25%)이고, (b) DR=0.5, (c) DR= 0.75 에서는 충전율이 FR=2, FR=1.34 로 각각 50%, 74.6%를 나타내었다.

5. 결론

몰드 돌출부의 너비가 큰 (DR 이 0.25 작은 몰드 패턴의 경우) 즉, 패턴의 돌출부 면적이 중 공부 면적에 비해 커질수록, 동일한 충전 조건에서 충전시간이 훨씬 빨라지는 것을 볼 수 있었다. 한편, DR 이 0.5 보다 큰 경우에는 몰드의 중공부 하루로 충전되는 폴리머의 응력에 비해 작고, 충전시간이 느려지는 현상을 보였다.

후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학 기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0006196)

참고문헌

1. S. Chou and P.Krauss, "Imprint lithography with sub 10nm feature size and high throughput". *Microelectronic Engineering*, 35, 237(1997)
2. M. Takahashi, M.C. Shen, R.B Taylor and A.V.Tobolsky, "Master curves for some amorphous poly-mers", *Journal of Applied Polymer Science*, 8,1549(1964)
3. Schapery, R.A., "A simple collection method for fitting viscoelastic models to experimental data." *Tech-nical Report* 61-23 A, California Institute of Technology, Pasadena, CA(1961).
4. Finite element analysis of low temperature thermal nanoimprint lithography using a viscoelastic model