

LIGA 공정 중 PMMA 현상 과정의 모사

임종석*(포항공과대 대학원 재료금속공학과), 이선아(포항공과대 대학원 재료금속공학과), 구양모(포항공과대 대학원 재료금속공학과)

Simulation of the PMMA development course in LIGA process

Jong-Seok Lim*(Material Sciences Eng. Dept. POSTECH), Sun-Ah Lee(Material Sciences Eng. Dept. POSTECH), Yang-Mo Koo(Material Sciences Eng. Dept. POSTECH)

ABSTRACT

In the first step of the LIGA process a resist layer, typically PMMA (polymethylmethacrylate), is patterned by deep X-ray lithography. Then the exposed parts are dissolved by an organic developer. To describe the development course the parameters influencing the development process was investigated. The developed depth is proportional to the square root of the development time which suggests that the development is diffusion controlled. The development rate increases with increasing dose value and temperature. So the development course can be described by a phenomenological equation.

Key Words : LIGA, Development, PMMA, simulation

1. 서론

LIGA 공정은 Deep X-ray lithography와 electroplating, molding의 세 단계로 나뉘어 진다. 이 중 첫 번째 과정인 Deep X-ray lithography 단계에서는 방사광에 의해 X-ray 마스크의 흡수체 패턴을 resist 층에 전사시키고, 그 뒤 유기 현상액에 의해 노광된 부분을 용해 시켜 1차 폴리머 구조물을 제조한다. 이 1차 폴리머 구조물은 다음 단계인 도금 공정(electroplating)과 금형화 공정(molding)에서 구조물 제작의 틀이 되기 때문에, 1차 폴리머 구조물 제조 단계는 전체 LIGA 공정에서 매우 중요한 부분을 차지 한다.

1차 폴리머 구조물의 정밀도와 질은 현상 과정의

여러 변수에 의해 큰 영향을 받는다. 현상 과정의 변수는 각 LIGA 빔 라인에 따라 여러 가지가 있을 수 있으나 본 실험에서는 PLS(Pohang Light Source)의 LIGA 9C1 빔 라인에서 노광 후 현상시, 현상 과정의 가장 주요한 변수인 dose량과 온도의 영향을 분석하여 현상 과정의 모사를 시도하였다.

2. 실험

본 실험에 사용된 X-ray 마스크는 한국 전자부품 종합기술 연구소에서 제조한 것으로 250 μm 흑연(graphite) 멤브레인과 14 μm 금(gold) 흡수체로 구성되었다. Graphite는 Goodfellow사에서 제조된 밀도 1.8 g/cm³의 Rigid 타입을 이용하였다.

resist로는 Goodfellow사에서 제조한 PMMA (polymethylmethacrylate)를 사용하였는데, 270 μm 두께로 절삭하여 Ti가 코팅된 Si 웨이퍼 위에 부착해서 노광 실험을 하였다.

노광은 실험은 PLS(Pohang Light Source)의 LIGA 9C1 빔 라인을 이용하였는데, 저장링 에너지는 2.5 GeV 이고, 90~150 mA 사이의 전류일 때를 이용하였으며, 노광시에는 5.0 μm 두께의 Cu 필터를 사용하였다.

현상액은 diethylene glycol buthylene 60 vol%, morpholine 20 vol%, ehanolamine 5 vol% 그리고 deionized water 15 vol% 의 혼합액인 GG developer system을 사용하였다.

실험은 2.5, 2.7, 3.0, 3.3 kJ/cm^3 각각의 dose량에 대해 PMMA를 20개씩 노광 시킨 후 31, 33, 35, 37 $^{\circ}\text{C}$ 의 각각의 온도에 대해 5개씩 PMMA를 현상시켰다. 현상시 dose량과 온도 이외의 변수를 없애기 위해, stirrer와 ultrasonic은 사용하지 않았으며, 폴리머 구조물의 모양에 따른 현상 변수도 배제하였다.

3. 결과

PMMA 현상시 PMMA 표면과 현상액 사이에는 현상액 농도의 급격한 변화가 보이는 겔(gel)과 같은 층이 형성되는데, 이 겔층을 사이에 두고 현상액-겔 경계와 겔-PMMA 경계가 만들어 진다. 현상 속도는 이 두 경계의 이동으로 설명되어 질 수 있다.⁽¹⁾

현상 속도는 겔 층을 통한 분자들의 확산과정에 의해 지배되는 경우 또는 현상액과 PMMA간의 화학반응에 의해 지배되는 경우가 있다고 보고 되었지만, 이는 PMMA에 일정 dose량 이상이 노광 되어지 지 못하면 화학반응에 의해 현상 속도가 지배되고 그 이상이 노광 되어지면 확산에 의해 현상 속도가 지배된다고 보고된 바 있어, 서로 모순되는 결과는 아니다.⁽²⁾

Fig. 1(a)는 서로 다른 dose량으로 노광한 PMMA를 현상 온도 37 $^{\circ}\text{C}$ 에서 현상했을 때의 그래프이고 Fig. 1(b)는 dose량 3.3 kJ/cm^3 을 노광한 후 서로 다른 현상 온도에서의 현상 과정을 나타내는 그래프이다.

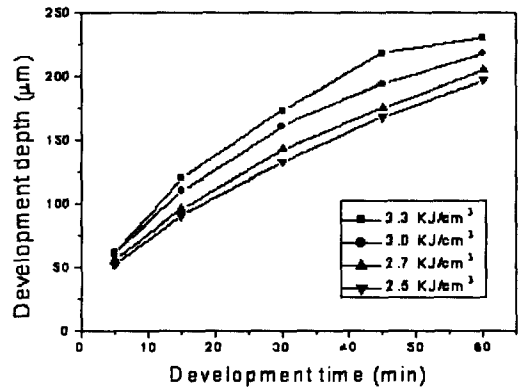


Fig. 1(a) Developed depth in dependence of the development time for different doses (37 $^{\circ}\text{C}$)

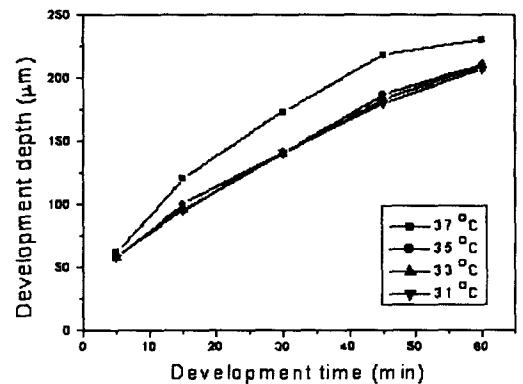


Fig. 1(b) Developed depth in dependence of the development time for different temperature (3.3 kJ/cm^3)

두 그래프에서 나타나듯이 현상 깊이는 현상 시간의 제곱근에 비례했으며, 이는 본 실험의 현상 과정이 확산에 의해 지배되고 있음을 나타낸다.⁽³⁾

따라서 다음과 같은 식 (1)을 세워 각각의 모든 현상 과정에 대해 모의맞춤(fitting)하여 매개 변수 a

값을 구하였다.

$$Development\ deep = a \sqrt{Time} \quad (1)$$

Table 1 Parameter a for different doses and temperature

	2.5 (kJ/cm ³)	2.7 (kJ/cm ³)	3.0 (kJ/cm ³)	3.3 (kJ/cm ³)
31 °C	20.1	21.8	24.4	26.6
33 °C	20.0	21.8	24.7	26.7
35 °C	20.7	22.8	25.2	27.0
37 °C	24.9	26.1	28.6	31.6

모의맞춤(fitting)하여 구한 매개 변수 a와 온도와의 관계를 고찰하기 위해 각 온도에 대해 dose량에 따른 a 값의 증가를 도시하여 보았다.

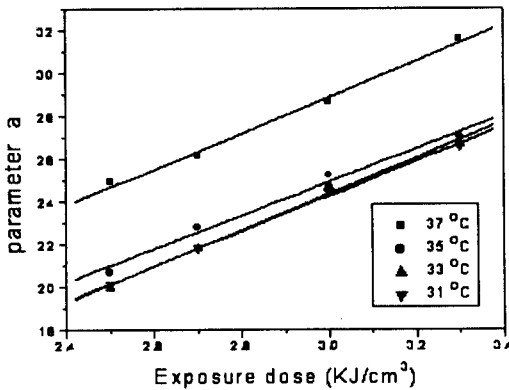


Fig. 2 Parameter a in dependence of the dose for different temperature

Fig. 2에서 알 수 있듯이 실험 온도 구간에서 a 값은 dose량이 증가함에 따라 비례하여 증가하였다. 따라서 현상 속도는 같은 온도에서는 dose량에 비례하여 증가함을 알 수 있다.

또한 현상 온도가 현상 속도에 어떠한 영향을 주는지를 고찰하기 위해 각 dose량에 대해 현상 온도에 따른 a 값의 증가를 도시하여 보았다.

Fig. 3에서 알 수 있듯이 a 값은 온도에 따라 지수

적으로 증가 하였다. 위의 그래프를 모의맞춤(fitting)하기 위해서 두 개의 매개 변수를 설정하였는데 그 중 하나는 확산의 활성화 에너지와 다른 하나는 dose량과 관계 있는 것으로 예측되나 정확한 물리적 의미를 밝히기 위해서는 추가적인 실험이 필요하겠

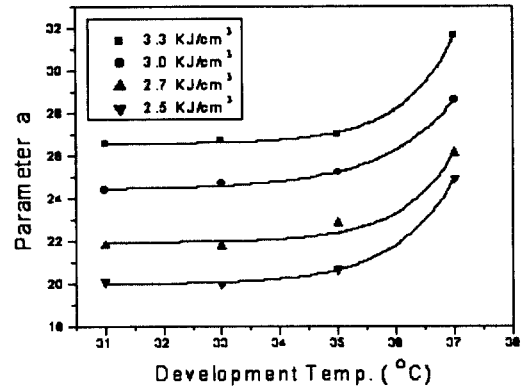


Fig. 3 Parameter a in dependence of the temperature for different doses

4. 모사

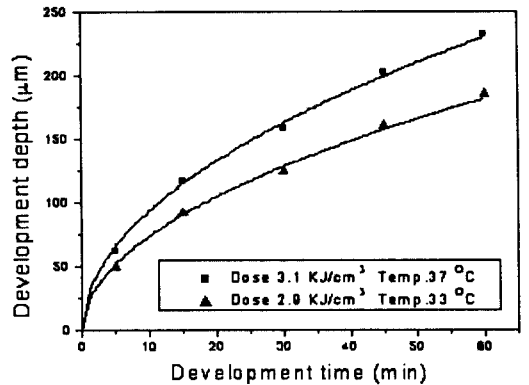


Fig. 4 Simulated and measured development course

온도 증가에 따른 a 값의 변화에 대해서는 추가적인 분석이 필요하나, 위의 결과들을 바탕으로 실제 실험한 온도 구간에서는 임의의 dose량에 대해 현상

과정의 모사가 가능하다.

Fig. 4에서 실선은 dose량 3.1 kJ/cm^3 을 노광후 현상 온도 37°C 에서 현상 과정과 dose량 2.9 kJ/cm^3 노광후 현상 온도 33°C 에서의 현상 과정을 각각 모사한 것이고, 각 점들은 실제 측정된 값들로서 모사한 실선들과 상당한 일치를 보이고 있다.

5. 결론

LIGA 공정의 첫번째 단계인 1차 폴리머 구조물 제조 시, 현상 과정에 영향을 주는 변수들을 찾아 현상 과정의 모사를 시도하였다.

다른 조건들은 고정시키고 dose량과 현상 온도가 현상 과정에 주는 영향을 분석한 결과, dose량이 증가함에 따라 현상 속도는 비례하여 증가였고, 온도가 증가함에 따라서는 지수적으로 증가하였다. 실험 결과를 바탕으로 일정 온도에서 임의의 dose량에 대한 현상 과정을 모사한 결과, 실제 측정된 값과 정확히 일치하였다.

후기

이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 학술연구 조성비(국제협력공동연구제)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. J. Zanghellini, A. El-Kholi, and J. Mohr, "Development Behaviour of Irradiated Microstructures," *Microelectronic Engineering*, Vol 35, pp. 409 - 412, 1997
2. Y Cheng, B-Y Shew, C-Y Lin, D-H Wei, and M K Chyu, "Ultra-deep LIGA Process," *J. Micromech. Microeng.*, vol. 9, pp. 58 - 63, 1999
3. Cheng-Tang Pan, Hsiarnng Yang, Horng-Jee Wang, and Min-Chieh Chou, "Behavior of the Developing Process for Ultradeep Microstructures," *Sensors and Materials*, Vol. 11, pp. 339 - 347, 1999.
4. J. Zanghellini, S. Achenbach, A. El-Kholi, J. Mohr, and F.J. Pantenburg, "New Development Strategies for High aspect ratio Microstructures," *Microsystem Technologies*, Vol. 4, pp. 94 - 97, 1998.
5. F. De Carlo, D.C. Mancini, B. Lai, and J.J. Song, "Characterization of Exposure and Processing of Thick PMMA," *Microsystem Technologies*, Vol. 4, pp. 86 - 88, 1998.
6. F.J. Pantenburg, S. Achenbach, and J. Mohr, "Characterisation of Defects in Very high Deep-etch X-ray Lithography Microstructures," *Microsystem Technologies*, Vol. 4, pp. 89 - 93, 1998.
7. T. Numazawa, Y. Hirate, and H. Takada, "The copolymer of methylmethacrylate and methacrylic acid as a sensitive resist for deep-etch X-ray lithography," *Microsystem Technologies*, Vol. 2, pp. 46 - 49, 1996.
8. A. El-Kholi, J. Mohr, and R. Stransky, "Ultrasonic supported development of irradiated micro-structures," *Microelectronic Engineering*, vol. 23, pp. 219-222, 1994.