

전자빔의 파라미터에 따른 노광특성 분석

The Analysis of Exposure Characteristics according to the Parameters of E-Beam Lithography

*오승훈¹, 김재구², 최두선², 조성학², #정명영¹

*S. H. Oh¹, J. G. Kim², D. S. Choi², S. H. Cho², M. Y. Jeong¹(myjeong@pusan.ac.kr)

¹ 부산대학교 나노융합기술학과, ²한국기계연구원 나노융합기계연구본부

Key words : E-beam lithography, Acceleration voltage, Aperture size, Step size, Baking temperature

1. 서론

현대 산업사회가 발전할수록 반도체 분야 및 정보저장매체, 광학소자 분야등에 있어 소자의 고기능화와 고집적화를 위한 나노 형상의 패턴을 제작하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 나노 패턴의 가공기술 중에서 전자빔 리소그래피 기술은 나노크기의 패턴을 제조하기 위한 가장 적합한 기법중의 하나로서, 주로 마스크 제작용이나 스탬프 제작용으로 사용되고 있다.¹⁾²⁾

전자빔에 의한 가공은 전자선 감광제를 도포한 시료 면에 자계렌즈에 의해 집속된 나노 크기의 spot 전자빔을 조사하여 감광제를 구성하는 고분자를 결합 또는 절단하여 시료 면상에 원하는 패턴을 형성하는 기술이다.³⁾ 이러한 전자빔 가공을 통한 패턴의 형상은 노광량인 내적인 가공변수와 현상시간, 작업공간 길이, 감광제의 종류 및 두께, 감광제의 경화 온도, 디자인 형상 등의 외적인 가공변수에 의해 결정된다. 여기서, 내적인 요소인 노광량은 가속전압 및 개구수의 크기에 의해 결정되는 빔 전류와 전자빔의 노출 시간에 의해 결정된다.

본 논문은 전자빔의 가공에 있어 패턴의 형상을 결정하는 여러 가지 가공변수 중 가속전압 및 개구수의 크기, 스탬프 크기에 의한 내적인 변수와 감광제의 경화온도에 따른 외적인 변수에 따른 노광특성을 살펴보고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

전자빔 노광에 있어 노광된 패턴의 크기 및 형상은 감광제의 고분자 체인의 절단에 필요한 에너지의 크기인 도즈량에 의해 결정되며, 식 (1)에 의해 정의된다.

$$Dose = \frac{I_{probe} \times T_{dwell}}{SSZ^2} \quad (1)$$

여기서, I_{probe} 는 전자빔의 전류, T_{dwell} 는 전자빔의 노출시간, SSZ는 포커싱된 전자빔의 spot간의 거리를 의미하며, 전자빔의 전류는 가속전압과 개구수의 크기에 의해 결정되며, spot간의 거리에 의해 전자빔의 노출시간이 좌우된다.

전자빔 가공 변수별 특성을 알아보기 위한 전자빔 장치로는 Raith 사의 50FE 모델을 사용하였다. 이 장치는 전자빔 에너지 및 전류 범위가 200 eV~30 keV 및 5 pA~5 nA이고, 최고 0.5 μm에서 최대 800 μm까지 16bit분해능으로 패턴링이 가능하다. 전자빔 노광을 위한 기관은 크롬 박막층이 30 nm 증착된 용융 실리콘 기관과 실리콘 기관을 사용하였다. 사용된 전자빔 레지스트는 495K PMMA A6(Micro Chem사)를 스핀코팅하여 사용하였으며, 핫 플레이트에서 200도와 120도에서 각각 경화시켜 경화온도에 따른 영향을 알아보았다.

가속전압 및 개구수 크기에 따른 영향을 알아보기 위해 가속전압을 2 kV, 20 kV로, 개구수의 크기를 30 μm, 10 μm, 7.5 μm로 설정하여 노광을 수행하였으며, 스탬프크기에 따른 영향을 알아보기 위해 스탬프크기를 64 nm와 32 nm로 설정하여 노광을 수행하였다.

노광후 현상은 상온에서 MIBK:IPA가 3:1로 혼합된 용액에 45초간 현상하였으며, 현상된 패턴은 FE-SEM을 통해 선폭을

측정하여 파라미터에 따른 전자빔의 노광특성을 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 가속전압 및 개구수 크기에 따른 영향

가속전압 및 개구수 크기에 따른 노광특성을 알기 위하여 선폭이 450 nm이고 피치가 550 nm인 정사각형 구조물을 디자인 하였고, 노광시 초점을 용이하게 하고, 빔의 산란을 최대한 방지하기 위해 레지스트와 전자원까지의 거리를 5.9 mm로 근접하게 설정하였으며, 스탬프크기를 6.4 nm로 설정하였다.

우선 디자인 형상에 비해 현상된 레지스트의 패턴 크기는 전체적으로 크게 가공되었으며, 이는 전자빔의 감광제와 기관에 의한 산란에 의한 것으로 사료되었다. 그리고, 상대적으로 낮은 가속전압인 2 kV로 노광시 20 kV로 노광된 경우보다 거의 모든 도즈량에서 더 큰 패턴이 형성됨을 알 수가 있었다. 이는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 2 kV의 가속전압 인가시 빔전류가 떨어지므로 인해 상대적으로 한 spot에 머무르는 시간이 길어지게 되어 전자빔의 산란이 더 많이 발생하게 되기 때문이라 사료된다.

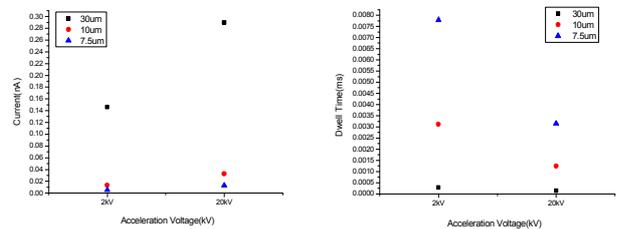


Fig. 1 Beam current and dwell time as a function of acceleration voltage(2 kV and 20 kV)

또한, 가속전압이 높은 20 kV의 경우에는 도즈량이 크게 되면 근접효과로 인한 가운데 패턴의 변형을 확인할 수 있었으며, 저전압인 2 kV에서는 20 μC/cm²의 낮은 도즈량에서도 노광이 가능하여 노광시간을 줄일 수 있었다.

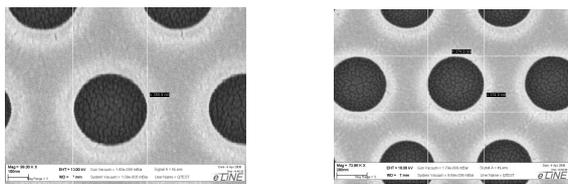
감광제의 패턴현상을 위한 에너지인 전류의 크기를 결정짓는 다른 변수인 개구수의 크기에 따른 패턴의 영향을 알아보았으며, 그 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 낮은 가속전압(2 kV)에서 도즈량이 낮은 경우(20 μC/cm²)에서는 개구수의 크기가 클수록 패턴의 선폭이 크게 현상되었다. 또한, 20 kV의 가속전압에서 개구수의 크기가 30 μm인 경우의 노광시 10 μm, 7.5 μm의 개구수의 크기에서 현상되지 않은 패턴이 현상됨을 알 수가 있었다. 이는 개구수의 크기가 클수록 한 spot에 머무르는 시간이 줄어들지만, 개구수가 커짐에 따라 더 많은 전자빔이 집속이 되므로 패턴의 형성시 필요한 에너지가 증가하였기 때문이라고 사료된다. 이를 통해, 패턴의 형성시 필요한 에너지가 한 spot에 머무르는 시간뿐만 아니라 인가전류에 의해서도 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 같은 개구크기와 도즈량에서 낮은 가속전압이 인가되더라도 전자빔에 의한 노출시간이 길면 현상이 가능하였다.

개구 크기	전압	도즈량		
		20 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$	120 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$	220 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$
7.5 μm	2 kV			
	20 kV	현상 안됨.		
10 μm	2 kV			
	20 kV	현상 안됨.		
30 μm	2 kV			
	20 kV			

Fig. 2 Characteristics of developed patterns according to the aperture size and the acceleration voltage

3.2. Step size 에 따른 영향

전자빔 노광에 있어 spot간의 거리인 스텝 크기에 다른 노광특성을 알아보기 위하여 지름이 370 nm이며, 피치가 610 nm인 원형 구조물을 디자인하여 스텝크기를 64 nm와 32 nm로 설정하여, 노광량을 160 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 수행하였다. Fig. 3에 스텝 크기에 따른 노광된 패턴의 결과를 나타내었다.



Step size: 64 nm (직경: 359 nm) Step size: 32 nm (직경: 374 nm)

Fig. 3 Characteristics of developed patterns according to the step size

스텝 크기가 32 nm로 노광된 패턴의 경우가 64 nm의 스텝크기로 노광된 패턴보다 패턴의 선폭이 15 nm 크게 현상되었다. 이는 스텝크기가 줄어들게 되면 같은 도즈량에서 빔이 머무는 시간은 줄어들지만, spot간의 줄어드는 간격으로 인해 전자빔에 의해 노출된 감광제의 영역이 미소하게 커짐으로 인한 것으로 사료된다.

3.3. 감광제의 경화온도에 따른 영향

전자빔 노광을 위해 감광제 코팅 후, 감광제에 희석된 솔벤트를 제거하기 위한 열경화가 수행한다. 이때, 감광제의 경화온도는 레지스트의 경화정도를 결정하게 되므로 이에 의한 패턴의 형성이 달라지게 된다. 따라서, 본 연구에서는 감광제의 경화온도에 따른 영향을 알아보기 위해 400 nm로 감광제를 코팅하였으며, 경화온도를 200도와 120도에서 핫 플레이트에 각각 감광제를

5분간 경화시켰다. 전자빔 노광은 가속전압을 2 kV와 3 kV에서 도즈량을 100 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 10,000 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 까지 노광을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

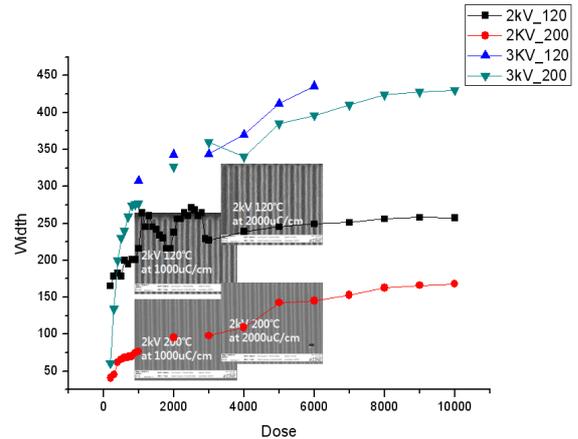


Fig. 4 Characteristics of developed patterns according to the baking temperature

경화온도가 120도로 낮은 경우에 선폭이 상대적으로 크게 현상되었으며, 이는 감광제의 경화도와 linking 정도가 상대적으로 낮아 전자빔에 의해 노출된 폴리머의 체인의 절단이 같은 도즈량에서도 많이 이루어진 결과라 사료된다. 또한, 이는 낮은 가속전압인 경우(2 kV)에 더욱 두드러지게 나타남을 알 수가 있었다.

4. 결론

전자빔의 가공에 있어 패턴의 형상을 결정하는 여러 가지 가공변수 중 가속전압 및 개구수의 크기, 스텝 크기(step size)에 의한 내적인 변수와 감광제의 경화온도에 따른 외적인 변수에 따른 노광특성을 분석하였다. 가속전압이 낮은 경우(2 kV)가 가속전압이 상대적으로 높은 경우(20 kV) 경우보다 전자빔의 산란에 의한 패턴의 선폭이 크게 현상되었다. 이는 가속전압이 낮은 경우 같은 도즈량에서 빔전류가 떨어지므로 한 spot에 머무르는 시간이 길어지므로 인한 것이다. 또한, 가속전압이 높은 20 kV에서 도즈량이 증가하게 되면 근접효과에 의한 패턴의 변형이 발생하였다. 그리고, 낮은 가속전압(2 kV)과 도즈량(20 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$)에서 개구수의 크기에 따른 패턴의 변화가 크게 나타났으며, 스텝크기에 따른 노광결과를 통해 스텝의 크기가 작은 경우에서의 노광시 spot간의 줄어드는 간격으로 인해 패턴의 선폭이 미소하게 증가하였다. 마지막으로, 경화온도가 낮은 경우에 경화도와 linking 정도가 낮아 패턴의 선폭이 크게 현상되었으며, 이는 가속전압이 낮은 경우 더욱 두드러지게 나타났다.

후기

본 연구는 지식경제부 차세대기술 개발사업 “고효율 에너지 빔 응용 초미세 부품 제조용 In-line 시스템 개발”의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim, J. G., Lee, J. J., Cho, S. H., Choi, D. S., and Lee, E. S., "Nano-maching Technology Using Electron Beam," J. of KSPE, 25, 7-14, 2008
2. C. Vieu, F. Carcenac, A. Pepin, Y. Chen, M. Mejias, A. Lebib, and H. Launois., "Electron beam lithography: resolution limits and applications," Applied Surface Science, 164, 111-117, 2000
3. A. Olkhovets, and H. G. Craighead, "Low voltage electron beam lithography in PMMA," J. Vac. Sci. Technol. B 17, 1999