

저에너지 전자빔 리소그래피의 Contrast 특성 분석 Contrast Characteristics of Low-Energy e-Beam Lithography

*김진석¹, 김한수², 이동윤¹, 이석우², #강은구¹

*J. S. Kim¹, H. S. Kim², D. Y. Lee¹, S. W. Lee², #E. G. Kang(egkang@kitech.re.kr)¹

¹한국생산기술연구원 IT융합생산시스템연구그룹, ²한국생산기술연구원 충청권지역본부장실

Key words : Low Energy e-Beam, e-Beam Lithography, Lithography Contrast

1. 서론

최근 초미세 부품가공 패턴의 소형화에 따라 레이저를 이용한 가공방식이 대두되어 왔으나 기존 레이저 가공 방식으로는 분해능의 한계가 있으므로 새로운 수단으로서 전자빔을 이용한 기술이 연구되고 있다. 특히, 전자빔 리소장치의 단점인 수율 향상을 위해 전자빔 칼럼의 소형화를 통한 다중 전자빔에 대한 연구가 수행되고 있다. 또한 기존 가우시안 빔이 아닌 형상을 가진 Shaped beam 을 통한 수율 향상을 하고 있다.^[1,2,3]

일반적으로 전자빔 리소그래피는 고에너지 (10keV이상)에서 사용되는데, 저에너지 (10keV이하)에서 사용하는 소형전자빔 칼럼(Miniaturized E-beam Column)을 이용한 전자빔 리소그래피는 고에너지를 사용하는 경우와 비교하여 resist내에서의 전자의 산란(Scattering)에 의한 근접효과(Proximity effect)의 감소로 인해 패턴의 해상도(Resolution) 저하를 막을 수 있다. 이러한 저에너지 전자빔 리소그래피 공정은 저에너지를 사용하므로 레지스트의 두께, 가속전압의 크기, Dose량 등 이에 알맞은 실험조건이 필수적으로 요구된다.

본 연구는 저에너지 전자빔을 이용하여 resist를 노광하고 가속전압 및 Dose량에 따른 가공 깊이, 가공폭 등을 통해 전자빔 리소그래피의 Contrast 특성 분석 연구를 수행하였다

2. 실험 장치 및 방법

저에너지 전자빔 리소그래피 공정의 전압별 가공 특성을 분석하기 위하여 JEOL사의 FE-SEM 장비에(JSM-760F) Raith사의 pattern generator(ELPHY Quantum)를 추가로 장착하여 전자빔 노광 실험을 하였다.

실험에 사용된 시편은 일반적인 실리콘 웨이퍼

를 사용하였으며, IPA(10min), DI water(5min)의 순서로 초음파 세척기를 사용하여 세정한 후, 레지스트를 세정된 실리콘 웨이퍼 위에 코팅하였다. 레지스트는 사용 용도에 따라 여러 가지 종류가 있지만 본 연구에서는 전자빔 노광에 일반적으로 많이 사용되는 PMMA 495 A4(Micro Chem)를 사용하였으며, 레지스트를 약 150nm의 두께로 코팅하기 위해 Spin Coater(SM-180BT)를 이용하여4000rpm으로 45초 동안 코팅을 실시하고, 180℃의 Hot Plate 위에서 1분 30초 동안 Prebake를 실시하였다.



Fig. 1 Photographs of E-beam Lithography System (JEOL:JSM-760F & Raith:ELPHY Quantum)

전자빔 노광을 위한 패턴 디자인은 패턴 길이 37um, 폭을 각각 0.1um, 0.3um, 0.5um, 1um하고 패턴간의 피치는 1um로 디자인 하였다. 패턴가공을 위해 가속전압을 1keV, 2keV, 3keV, 5keV변화시켜 노광 하였으며, 이때 Probe Current는20pA, Step Size는30nm로 하고, Dose량을 10 ~ 50uC/cm2로 증가 시키면서 전자빔 노광을 실시였다. 노광된 시편에 사용된 현상액으로는 MIBK(Methyl isobutyl ketone):IPA(Isophthalic Acid) = 3:1 로 혼합된 용액에 약 45 초간 담그고, 꺼낸 후 IPA 로 세정을 하였다. 현상된 시편은 AFM을 이용하여 패턴 깊이 및 패턴 폭을 측정 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

전자빔 레지스트의 성능은 일반적으로 민감도와 Contrast 곡선에 의해 평가된다. 현상후 레지스트가 없어지는 최소 Dose량을 D_{100} 라고 하고, 레지스트 두께가 크게 변하지 않는다고 할 수 있는 가상의 Dose량을 D_0 라고 하면, contrast는 두 값의 비로 결정되며 다음의 식으로 나타낼 수 있다.^[2]

$$(\text{Contrast}) \gamma = \left| \log\left(\frac{D_{100}}{D_0}\right) \right|^{-1}$$

Fig. 3은 Contrast 곡선 및 1keV ~ 5keV의 가속전압 영역에서 Dose량에 따른 가공 깊이 결과 이다.

가속전압 -3keV이상에서는 15uC/cm²의 낮은 Dose 량에서 예상 레지스트 두께까지 가공이 이루어졌다. 반면 -1keV와 -2keV에서는 25uC/cm²에서부터 가공은 되었지만 50uC/cm²까지도 예상 레지스트 두께 까지 가공이 되지 않았다. -1keV와 -2keV의 경우 Dose량을 더욱 증가 시키면 예상 레지스트 두께까지 가공이 이루어 질것으로 예상된다.

Fig. 3의 결과를 바탕으로 Contrast 값을 계산하였으며 Table 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 가속전압 1kV의 경우 본 실험의 Dose량 영역에서는 Contrast값을 계산 할 수 없었다.

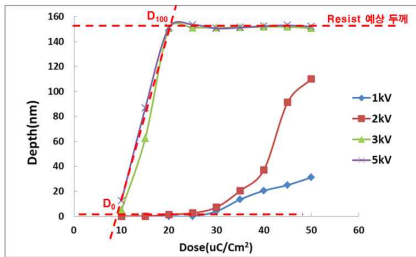


Fig. 3 Contrast curves with different exposure energy

Table 1 Result of contrast

가속전압	1kV	2kV	3kV	5kV
Contrast	-	3.16	3.32	3.32

Fig.4는 가속전압 -3keV, -5keV일 때 패턴 가공 폭의 측정 결과이다. 가속 전압 -2keV이하에서는 가공 패턴 폭의 증가로 패턴 사이의 피치가 모두 노광되어 정확한 가공 폭을 측정 할 수 없었다.

Design 패턴이 작을수록 패턴 폭은 Design 패턴에 비해 크게 가공되며, 가속 전압의 경우 -3keV일 때 -5keV보다 패턴 폭이 크게 가공되었다. 이는 낮은 에너지 일수록 전자가 레지스트 내부로 깊게

침투하지 못하고 표면에서 산란을 유도하여 노광되는 것으로 판단된다.

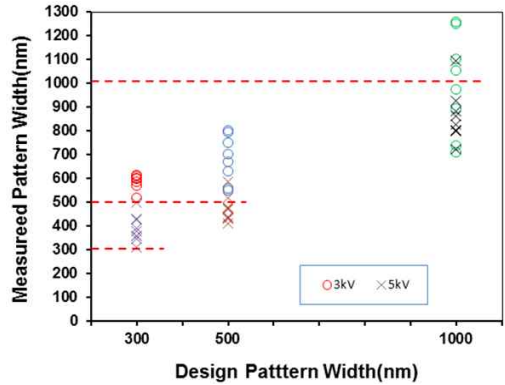


Fig. 4 Design pattern width versus measured pattern width

4. 결론

150 nm 두께의 레지스트에 가속 전압 및 dose량 변화에 따른 가공 실험을 통하여 저에너지 전자빔의 노광 특성 분석하였다. -3kV이상의 에너지에서 적은 Dose량으로 예상 레지스트 두께까지 가공이 되는 것을 확인하였으며, 2keV ~ 5keV의 가속전압 변화에 따른 Contrast 값을 얻을 수 있었다. 또한, 가속전압이 낮을수록 PR과의 산란 효과 증가로 인해 가공 패턴 폭이 증가되는 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천 기술개발사업 “고효율 에너지빔 응용 초미세 부품 제조용 In-Line 시스템 개발”과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Muary, L. P., et al, "Experimental evaluation of arrayed micro-column lithography," Micro electronic Engineering, 53, 271 ~ 277, 2000.
2. H. Yang, A. Jin, Q. Luo, Z. Cui and Y. Chen, "Low-energy electron-beam lithography of hydrogen silsesquioxane," Microelectronic Engineering , 83, 788-791, 2006.
3. K. D. Schock, F. E. Prins, S. Strahl and D. P. Kern, "Resist processes for low-energy electron-beam lithography," J. Vac. Sci. Technol. B , 15, 2323-2326, 1997.