

# 나노사출성형용 스탬퍼 제작을 위한 Electron beam lithography 패터닝 연구

엄상진\*, 서영호, 유영은, 최두선, 제태진, 황경현  
(한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부 나노장비연구센터)

## Electron beam lithography patterning research for stamper fabrication using nano-injection molding

S.J. Uhm\*, Y.H. Seo, Y.E. Yoo, D-S. Choi, T.J. Je, and K-H. Whang  
Nano-Machining Center, Dep't of Intelligence and Precision Machine,  
Korea Institute of Machinery & Materials

### ABSTRACT

We have investigated experimentally a nano patterning using electron beam lithography for the nickel stamper fabrication. Recently, DVD and Blu-ray disk(BD) have nano-scale patterns in order to increase the storage density. Specially, BD has 100nm-scale patterns which are generally fabricated by electron beam lithography. In this paper, we found optimum condition of electron-beam lithography for 100nm-scale patterning. We controlled various conditions of EHP(acceleration voltage), beam current, dose and aperture size in order to obtain optimum conditions. We used 100nm-thick PMMA layer on a silicon wafer as photoresist. We found that EHP was the most dominant factor in electron-beam lithography.

**Key Words** : Electron Beam lithography, Polymer nanofabrication, PMMA 950kMW, Nano pattern stamper

### 1. 서론

최근 나노디바이스, 바이오센서, 정밀기계 및 정보저장매체분야에서 나노 패터닝을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 정보매체분야에 적용되고 있는 패터닝을 응용하여 현재 사용되고 있는 정보저장 디스크(DVD)보다 작은 면적에 더 많은 데이터저장이 가능한 나노패턴 스탬퍼를 제작을 수행하였다. 나노급 패터닝을 위해서 X-ray와 UV-노광보다 해상도가 뛰어난 전자빔 노광기술(Raith 150 system)을 이용하여 나노사출성형용 스탬퍼를 제작하였다. 제작된 스탬퍼의 패터닝 크기는 수 십 나노급에서 수 백 나노급으로 디자인하였고 전자빔 조사 후, 결과를 FE-SEM 사진으로 분석하였다. 전자빔 조사 조건에 따라서 다양한 패터닝과 최적의 조건 확립하기 위해 실험을 반복 수행하였다. 여러 조건으로 실험한 결과들을 실험계획법을 적용하여 최적의 전자빔 조사 조건을 도출하기 위해 조건들을 순차적으

로 오차범위를 줄였고 외부잡음(진동, 전기적 충격, 고주파)을 감안하여 최적화 하였다. 패터닝 크기는 실험을 통해  $1\ \mu\text{m} \sim 50\ \text{nm}$  까지 패터닝 하였다.

### 2. 실험

전자빔 노광 기술을 이용하여 나노 패터닝을 하기 위해 4" 실리콘 웨이퍼 위에 PMMA 950kMW를 스핀 코팅하여 샘플을 제작하였다. PMMA950kMW의 화학적 구조는  $(-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)(\text{COOCH}_3)-)$  형태를 가지며 두께는 100nm이며 오차범위는 10% 미만이다. Fig. 1은 나노 패터닝 크기의 스탬퍼 제작공정도를 나타내었다. 일반적으로 PMMA950kMW는 전자빔 조사 할 때 최소 패터닝 크기가 수 십 나노까지 가능한 것으로 문헌 조사를 통해 조사하였다.

나노사출성형용 스탬퍼 제작 공정순서는 다음과 같다.

1. 4" 실리콘 웨이퍼위에 100 nm두께로 PMMA 스핀 코팅.
2. 디자인된 나노패턴부분에 전자 빔 조사.
3. 전자 빔이 조사된 부분을 제거하기 위해 현상 시약(MIBK : ISO = 1 : 3)안에 35 sec동안 현상 하고 stopper(Isopropanol)에 40 sec동안 희석.
4. seed layer를 증착 후 electro-plating을 이용하여 니켈을 도금.
5. 실리콘 웨이퍼와 니켈 스탬퍼를 분리 한 후 뒷면 폴리싱.
6. 500  $\mu\text{m}$  두께의 니켈 스탬퍼 제작 완성.

PMMA가 코팅된 샘플을 가지고 디자인된 패턴을 하기 전에 contamination dot를 찍어 전자빔의 초점을 맞추고 난 후에 이 dot을 기준으로 전자 빔 조사 배열을 하였다. Fig. 2는 20nm크기의 contamination dot의 FE-SEM사진을 나타내었다. 100nm급 이하의 패턴을 위해서 EHP(acceleration voltage)를 증가시키며 실험을 반복 수행 하였으며, 빔의 구경을 감소시키면서 패턴닝을 하였다. 이 때 조사 조건으로는 EHP= 20 kv, Beam current= 0.03494 nA, Aperture size= 10.0  $\mu\text{m}$ , wobble amplitude= 14.0 % 이었으며 WD= 6 mm 이었다. 또한 dose량에 따라 패턴의 크기가 달라질 수가 있음을 확인 하였다. dose량이 많으면 실제 디자인된 크기보다 크게 패턴닝 될 수 있고 dose량이 작으면 패턴이 현상되지 않았다. 실험을 반복하여 최적의 조건을 확립하였으며 area step size= 0.0060  $\mu\text{m}$ , Dwell time= 0.002061 ms, dose= 2.00  $\mu\text{As}/\text{cm}^2$ , beam speed= 2.912 mm/s에서 작업을 하였을 때 디자인한 결과가 패턴닝이 됨을 확인 하였다.

Table 1은 dose량을 계산하기 위한 이론적인 수식을 나타내었다. Fig. 4는 설계된 디자인을 조사하기 전의 dose량 결정을 위한 dot 패턴을 나타내었다. 이 때 S는 dot과 dot의 중심간 거리를 나타낸다. Table 2는 두 가지 형태로 디자인된 나노 패턴 크기를 표로 나타내었다.

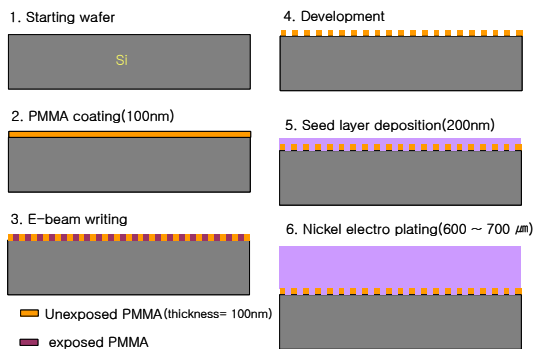


Fig.1 Fabrication process of the nickel stamper.

Table 1. The theoretical equation for E-beam dose control.

Area	line	dot	Pixel	X-Y stage H/W Limit= 65536
Dose= $\text{It}/\text{S}^2$	Dose= $\text{It}/\text{S}$	Dose= $\text{It}$	Pixel= min-step size	Pixel/65536= resolution/WF

Table 2. Dimension of data-bit patterns.

단위 : $\mu\text{m}$					
Type		L	W	P	W
Type 1	1차	0.1	0.1	0.15	0.1
Type 2	2차	0.05	0.05	0.075	0.1



Fig. 2 Contamination dot of 20 nm size for E-beam focusing.

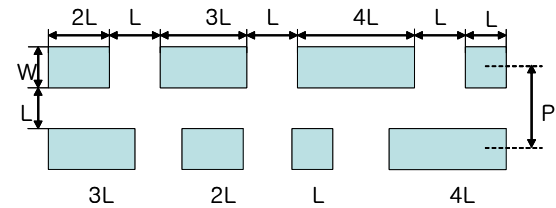


Fig. 3 Schematic design of data-bit structure.

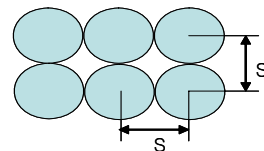


Fig. 4 Dot pattern for dose determination. (where S: distance between dot center and dot center)

### 3. 결과 및 토론

설계된 패턴은 1  $\mu\text{m}$  패턴부터 50 nm 패턴까지 형성 하였으며 Fig. 4는 1 $\mu\text{m}$  패턴 크기 패터닝 한 후 FE-SEM를 찍은 사진이다. 이 때 EHP가 증가 함에 따라서 패턴 형성이 잘 됨을 결과를 통해 알 수 있었다. 따라서 패턴 크기가 작아짐에 따라 EHP의 영향이 크게 받는지를 실험 하였으며 FE-SEM사진으로 분석 하였다. 이 때 다른 조건들은 상수로써 변화를 주지 않았다. 그 결과 수 백 나노급까지는 EHP에 크게 영향이 받음을 실험적으로 결론지을 수 있었다. 하지만 수 십 나노급에서는 다른 여러 조건들(dose, aperture size, beam current, working distances, etc)의 최적화가 필요함을 알 수 있었다.

정밀한 패턴을 위해서는 WD(work field)를 줄여야 하며 EHP를 증가시켜야 하고 빔 전류는 낮아져야 한다는 것을 반복 실험을 통해 결론 내릴 수 있었다. Fig. 5는 50 nm 패턴을 FE-SEM으로 찍은 사진이다. 50 nm 패턴의 최소 격자 주기성은 100  $\mu\text{m}$  WD를 사용하여 EHP가 10 kV와 20 kV에서 각각 노광 한 결과이다. 이때 패턴 형성이 잘 이루어지는 조건은 EHP= 20 kV에서 빔 전류가 0.01493 nA에서 aperture size는 7.0  $\mu\text{m}$ 이었다. 또한, WD= 7 mm이며 Area step size= 0.0048  $\mu\text{m}$ , Dwell time= 0.001961 ms, Dose= 200  $\mu\text{As}/\text{cm}^2$ , Beam speed= 1.563 mm/s이었다. Fig. 5 (b) FE-SEM사진에서 약 20nm급의 dot 패턴이 가능하다는 것을 보여주고 있다.

따라서 EHP를 30 kV ~ 100 kV까지 증가시키며 정보매체에 응용되는 패턴 형성을 위해 실험을 진행하고 있다. FE-SEM 측정시에 나노패턴 형상을 보는데 어렵기 때문에 형성된 나노패턴위에 Au 코팅을 스퍼터링 방법으로 30 nm 증착 한 후에 측정을 하였다. 측정 해 본 결과 좀 더 명확한 나노 형상을 확인할 수 있었다.

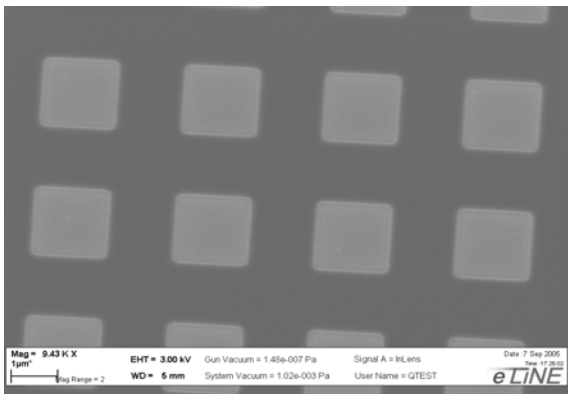
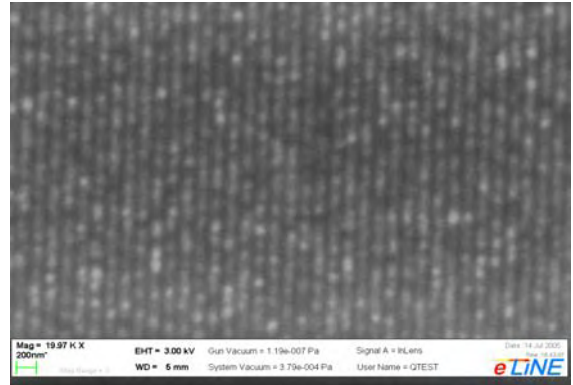
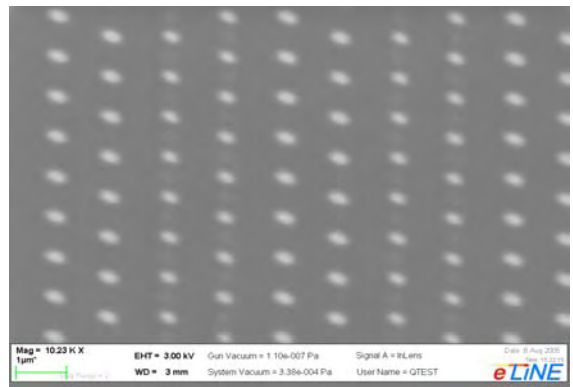


Fig. 4 SEM image of 1  $\mu\text{m}$ -size pattern array at EHP of 20 kV.



(a)



(b)

Fig. 5 SEM image of 50 nm-size pattern array: (a) EHP of 10kV; (b) EHP of 20kV

### 4. 결론

전자빔 노광 기술을 사용하여 정보저장매체에 사용되는 패턴을 100 nm이하까지 패터닝이 가능하도록 Raith 150 system를 사용하여 실험하였다. 실험한 결과를 분석하여 최적의 나노 패터닝의 조건을 확립하기 위해 실험계획법을 적용하여 최소의 실험횟수로 고 해상도 패턴이 가능하였다. 또한 이런 기초 원천 기술을 통해 다른 응용분야인 디스플레이, 나노 디바이스, 나노바이오, 정밀기계 등에서 응용이 가능할 것으로 판단된다.

### 후기

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업의 하나인 나노메카트로닉스 기술개발사업단의 지원으로 수행 되었습니다.

## 참고문헌

1. H. Liu et al., "A patterning process with sub-10nm 3- $\sigma$  CD Control for 0.1  $\mu\text{m}$  CMOS technologies" SPIE vol. 3331, pp. 375-381, 1997.
2. J. H. Stathis et. al., "Reliability projection for ultra-thin oxides at low voltage, "IEDM 1998, pp. 167-168, August 1999.
3. J-P. Colinge, Silicon-on-Insulator Technology: Materials to VLSI, Kluwer Academic Publishers.
4. P. Rai-Choudhury, McCord, Rooks et al., Handbook of Microlithography, Micromachining and Microfabrication SPIE, vol. 1, 1997.
5. H. Namatsu, Y. Takahashi et al., J. Vac. Sci. Technol. B16 (1) (1998) 69.
6. Hasegawa S, Iida Y, Hidaka T. J Vac Sci Technol 1987;B5:142 -
7. Rosenbusch A, Glezos N, Klaus M, Raptis I. Proc SPIE 1996;2884:435 - .
8. S. Cabrini, A. Carpentiero, R. Kumar, L. Businaro, P. Caneloro, M. Prasciolu, A. Gosparini, C. Andreani, M. De Vittorio, T. Stomeo, E. Di Fabrizio, Microelectron. Eng. 78 - (2005) 11 - .
9. J. Rothman, M. Kläui, L. Lopez-Diaz, C.A.F. Vaz, A. Bleloch, .A.C. Bland, Z. Cui, R. Speaks, Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 1098.
10. Th. Weimann, H. Wolf, H. Scherer, V.A. Krupenin, J. Niemeyer, Appl. Phys. Lett. 71 (1997) 713.
11. Th. Weimann, P. Hinze, H. Scherer, J. Niemeyer, Proceedings of the International Conference on Micro- and Nanofabrication 98, Leuven, Belgium, 1998, in press.
12. Solak HH, He D, Li W, Singh-Gasson S, Cerrina F. Exposure of 38 nm period grating patterns with extreme ultraviolet interferometric lithography. Appl Phys Lett 1999;75:2328.30.