

50nm 급 불연속 나선형 패턴의 마스터 제작

오승훈*, 최두선**, 제태진**, 정명영***, 유영은#

Fabrication of Master for a Spiral Pattern in the Order of 50nm

Seung Hun Oh*, Doo Sun Choi**, Tae Jin Je**, Myung Yung Jeong*** and Yeong Eun Yoo#

ABSTRACT

A spirally arrayed nano-pattern is designed as a model pattern for the next generation optical storage media. The pattern consists of 4 types of embossed rectangular dot, which are 50nm, 100nm, 150nm and 200nm in length and 50nm in width. The height of the dot is designed to be 50nm. The pitch of the spiral track of the pattern is 100nm. A ER(Electron resist) master for this pattern is fabricated by e-beam lithography process. The ER is first spin-coated to be 50nm thick on a Si wafer and then the model pattern is written on the coated ER layer by e-beam. After developing this pattern written wafer in the solution, a ER pattern master is fabricated. The most conventional e-beam machine can write patterns in orthogonal way, so we made our own pattern generator which can write the pattern in circular or spiral way. This program generates the patterns to be compatible with the e-beam machine from Raith(Raith 150). To fabricate 50nm pattern master precisely, a series of experiments were done including the design compensation for the pattern size, optimization of the dose, acceleration voltage, aperture size and developing. Through these experiments, we conclude that the higher accelerating voltages and smaller aperture size are better for mastering the nano pattern which is in order of 50nm. With the optimized e-beam lithography process, a spiral arrayed 50nm pattern master adopting PMMA resist was fabricated to have dimensional accuracy over 95% compared to the designed. Using this pattern master, a metal pattern stamp will be fabricated by Ni electro plating for injection molding of the patterned plastic substrate.

Key Words : Optical storage memory (광정보메모리), Electron beam lithography (전자빔 리소그래피), Discrete spiral pattern (불연속적 나선형 패턴)

1. 서론

최근 정보량의 증가와 통신 속도의 증가로 인해 광저장매체의 용량 증가에 대한 요구가 급증하

고 있으며, 이러한 요구를 충족하기 위해서 데이터를 나타내는 패턴의 크기 및 배열 간격을 줄여 데이터의 저장 밀도를 증가 시키는 방향으로 연구 개발이 이루어지고 있다.

접수일: 2007년 7월 3일; 게재승인일: 2008년 1월 30일

* 부산대학교 나노융합기술학과

** 한국 기계 연구원 나노기계연구본부 나노공정팀

*** 부산대학교 나노시스템 공정공학과

교신저자: 한국 기계 연구원 나노기계연구본부 나노공정팀

E-mail: yeyoo@kimm.re.kr Tel. (042) 868-7883

수백나노 크기의 패턴이 적용되고 있는 광학저장매체의 제작을 위해서는 광 노광기술을 적용한 마스터 제작과 이를 이용한 사출 성형 공정을 통한 매체의 대량 생산이 일반화되어 있다. 그러나, 저장 용량 증가로 인하여 적용되는 패턴 크기가 100nm 급 이하로 작아지는 경우, 성형 공정에서의 패턴 전사성 저하뿐만 아니라, 광 회절에 의한 한계로 인해 기존의 광 노광기술을 적용하여 패턴 혹은 데이터 마스터를 제작하는 것이 현실적으로 매우 어려워진다.²

따라서, 100nm 급 혹은 이하의 패턴 형성을 위해서는 e-beam lithography 공정의 적용이 요구되고 있다. 최근 이를 이용한 마스터 제작 및 성형 공정에 대한 연구가 진행되고 있으며,³ 이러한 공정에 대한 연구를 통해서 패턴의 크기는 지속적으로 작아지는 반면, 패턴이 가공되는 면적은 증가하고 있는 추세이다.

E-beam lithography 공정을 통한 패턴 마스터 및 스템퍼 제작은 일반적으로 quartz 혹은 silicon wafer 에 코팅된 레지스트 위에 디자인된 패턴을 e-beam writing 에 의해 구현하고, 현상 및 lift off 공정, 이온 에칭 등 필요한 후속 공정을 통해 마스터를 제작한 후 니켈 등의 소재를 이용한 전기 도금을 이용하여 내구성이 우수한 성형용 금속 스템퍼를 제작한다.⁴

광저장 매체와 같은 나노 패턴을 이용한 제품의 경우 패턴 형상 및 크기는 제품의 성능에 직접적인 영향을 미치게 되는데,⁵ 기존의 일반적인 패턴닝에 대한 연구는 직교 배열 형태에 대해서 많이 이루어져 왔다. 그러나 DVD 와 같은 광정보저장매체의 경우 패턴이 원형으로 배열되어 있어, 원형 배열 패턴에 대한 e-beam lithography 기술 개발이 필요하나, 이에 대한 기존의 연구 결과는 불연속 나선형 패턴의 디자인이 불가능하므로 보고되고 있지 않다.

따라서, 본 논문에서는 추후 광 정보저장 매체에 적용이 가능한 나선형으로 배열된 불연속적인 50nm 급 패턴의 마스터 제작의 기초연구를 위하여 나선형 배열 패턴 설계 프로그램을 작성하였으며, 이를 통해 패턴을 설계하였다. 또한, 설계된 패턴 마스터의 정밀 제작을 위해 e-beam lithography 공정을 최적화하여 불연속적 나선형 패턴을 정확히 제작하고자 하였다.

2. 광정보저장 매체를 위한 불연속적인 나선형 패턴 설계

50nm 급의 불연속 나선형으로 배열된 패턴 마스터 제작을 위한 패턴 생성 프로그램을 작성하였고, ASCII 코드로 패턴 정보로 저장하여 본 연구에서 사용된 독일 Raith 사 e-beam lithography 전용 장비인 RAITH 150 모델과 호환이 가능하도록 하였다.

원형 배열을 이루고 있는 단위 패턴들은 패턴 정보 저장 용량 및 공정 시간을 고려하여 직선 형태로 설계되었다. Fig. 1(a)에서와 같이 x_1, y_1 및 x_2, y_2 좌표로 정의되는 Point1 과 Point2 의 두 점으로 구성되는 단위 직선은 Fig. 1(b)와 같이 코딩 되어진다. Fig 1(c)에 Fig. 1(b)의 의미를 나타내었으며, L 은 직선, 100 은 노광량의 백분율값, l 은 직선의 수, 0 은 선의 두께를 의미한다.

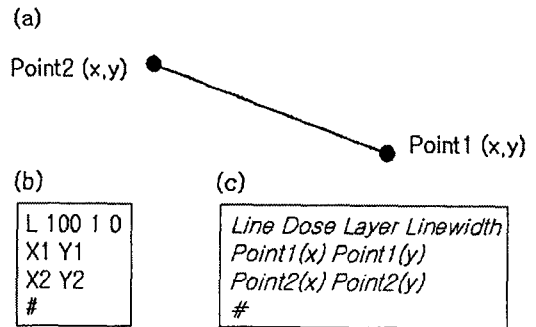


Fig. 1 Defining a unit line for E-beam writing, (a) a unit line and (b) the corresponding codes in RAITH program and (c) the meaning

이와 같은 방법으로 길이가 각각 50nm, 100nm, 150nm 및 200nm 이고, 너비가 100nm 인 단위 패턴 들이 주기적으로 반복되는 나선형 패턴 배열을 나타낼 수 있었다. 그리고, 패턴 배열을 위한 각 단위 직선 패턴의 시작점 및 끝점의 위치는 Fig. 2 에 나타낸 것과 같이 50nm 크기 직선에 대한 원주각을 단위 각도로 하여, 각각의 패턴 길이 및 패턴 간격을 정의하여 계산하였다.

Fig. 3 에서는 패턴 배열이 제작되는 노광 영역을 정의하기 위한 윈도우 패널을 나타내었으며, 여기에 나타난 입력 값은 패턴 배열 영역의 안지

름이 $50\mu\text{m}$ 이며, 패턴 배열 영역 안에 형성되는 나선형으로 배열된 패턴 트랙의 수가 100 개 임을 나타내고 있다. 현재 각 트랙은 100nm 주기로 반복 되도록 프로그램에서 설정되어 있어 Fig. 3의 입력 값에 의해서는 패턴 영역의 바깥 지름이 $70\mu\text{m}$ 로 설계된다. 실제 패턴 영역의 안지름은 $80\mu\text{m}$, 바깥 지름은 $160\mu\text{m}$ 로 설정하여 패턴 배열을 설계하였다.

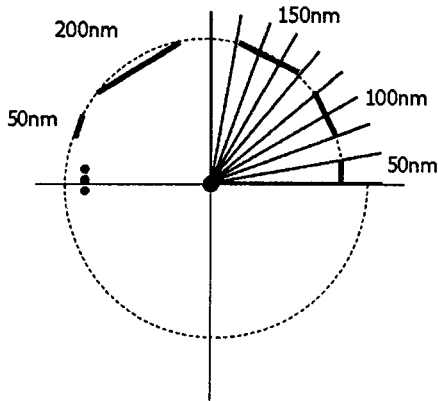


Fig. 2 The schematic of the digitized spiral design with a unit angle of 50nm

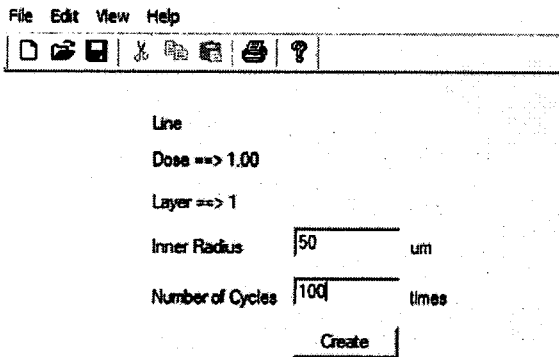
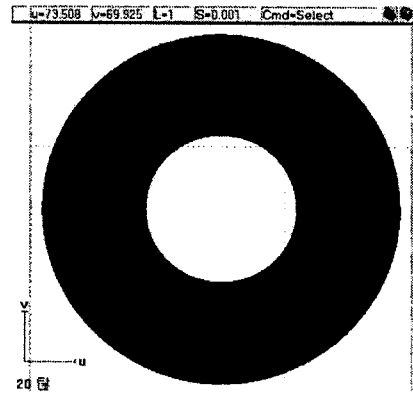


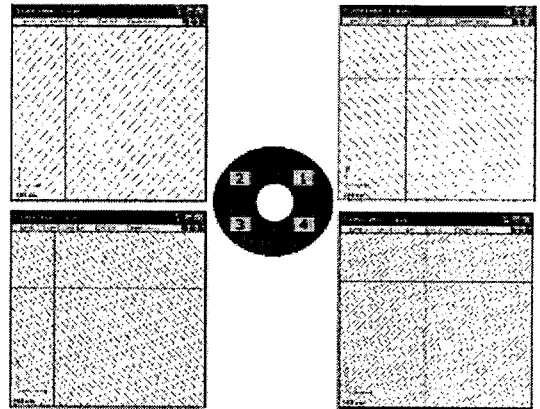
Fig. 3 The window input panel for a spiral pattern design

Fig. 4은 본 연구에서 작성된 패턴 설계 프로그램을 이용하여 설계된 패턴을 RAITH 프로그램을 이용하여 윈도우상에 나타낸 결과로서, $50\text{nm} \sim 200\text{nm}$ 길이의 직선으로 설계된 단위패턴으로 원형

배열을 구성하는데 문제가 없음을 잘 보여주고 있다.



(a) the whole area



(b) the four different sections of the digitized spiral patterns

Fig. 4 The pattern array displayed from an ASCII design file

3. 전자빔 리소그래피를 이용한 광정보저장 매체용 나선형 마스터 제작

앞에서 설계된 50nm 급 패턴의 나선형 배열의 마스터 제작을 위해서, Fig. 5에 나타낸 바와 같은 전자빔 리소그래피 공정을 적용하였다.

우선 실리콘 웨이퍼 위에 전자빔 리소그래피를 위한 레지스트를 스핀 코팅하였다. 본 연구에

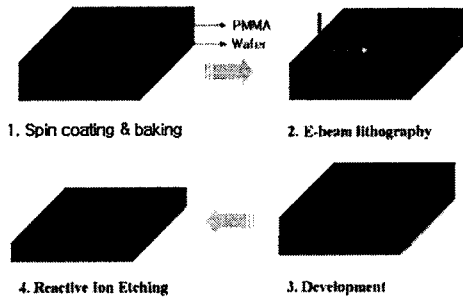


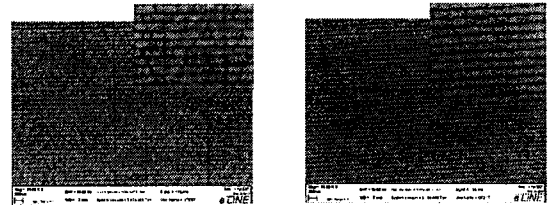
Fig. 5 Sequence of master fabrication

서 사용된 레지스트는 노광부와 비노광부 사이의 대비비가 높으며, 현상 후 수직적인 형상에 유리한 분자량이 950K 인 PMMA A2 를 사용하였다. 레지스트는 4900rpm 의 스핀 속도로 45 초 동안 회전시켜 약 50nm 의 두께로 코팅하였고, 200℃의 핫 플레이트에서 5 분간 가열하여 잔여 솔벤트를 제거하였다. 코팅된 레지스트 위에 패턴을 기록하기 위한 전자빔 노광은 초점 설정을 용이하게 하고, 빔의 산란을 최대한 방지하기 위해 레지스트와 전자원까지의 거리를 3mm 로 근접하게 설정하였으며, 스텝 크기를 3.2nm 로 설정하였다. 기록된 패턴을 이용하여 ER 패턴 마스터 제작을 위해서는 현상과정이 필요한데, 이를 위해서 MIBK 와 IPA 를 1 대 3 으로 희석시킨 현상액으로 21℃ 온도에서 45 초간 현상하였으며, 이후 IPA 로 20 초간 세척하였다.

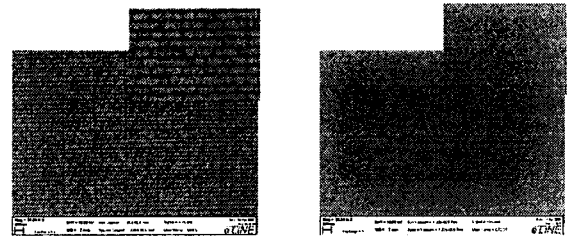
전자빔 리소그래피를 통하여 미세한 패턴을 제작할 경우, 전자빔이 레지스트와 기판에서 산란되어 실제 방사된 전자빔이 레지스트와 반응하는 범위는 훨씬 넓어지게 되는데, 이로 인해서 설계 패턴과 구현된 패턴 사이에는 차이가 발생한다. 따라서, 원하는 크기의 패턴을 구현하기 위해서는 노광량의 최적화가 필요하다. 패턴의 형상 및 크기에 큰 영향을 미치는 노광량은 빔 전류와 전자빔이 한 spot 에 머무르는 시간 그리고 패턴의 field 크기에 의해 결정된다. 여기서, 빔전류는 가속전압과 aperture size 에 의해 정해지며, 전자빔이 머무는 시간은 스텝 크기와 연관 있다. 따라서, 전자빔 리소그래피를 적용하여 설계된 50nm 급 구조물의 나선형 배열 패턴을 구현하기 위해서는 가속전압, aperture size, 노광시간 등의 주요 공정 변수를 조절하여 최적의 노광량 조건을 도출하여야 한다. 이를 위해 노광량을 340 $\mu\text{C}/\text{cm}$ ~ 410 $\mu\text{C}/\text{cm}$ 까지 변화시키면서 가속전압을 10kV 와 20kV, 개구수의 크기를

10 μm 와 30 μm 로 각각 달리하여 최적의 노광량을 구하였으며, 공정 변수에 따른 노광특성을 알아보았다.

먼저, aperture 의 크기에 따른 노광특성을 알아보기 위해 aperture 의 크기를 10 μm 와 30 μm 로 달리하여 노광을 수행하였다. Fig. 6 에 노광량이 350 $\mu\text{C}/\text{cm}$ 과 400 $\mu\text{C}/\text{cm}$ 에 대한 패턴 결과를 나타내었으며, 개구수의 크기가 작아지면 패턴의 선폭이 감소함을 알 수 있다. 이는 aperture 의 크기가 작아지면 전자빔의 입사각도가 작아져 초점 심도가 커지게 될 뿐만 아니라, 빔 에너지가 감소하여 전자들의 산란을 줄일 수 있기 때문이다.



(a) dose 350 $\mu\text{C}/\text{cm}$ (left; 10 μm , right;30 μm)



(b) dose 400 $\mu\text{C}/\text{cm}$ (left; 10 μm , right;30 μm)

Fig. 6 The pattern results according to aperture size

다음으로 가속전압에 따른 노광 특성을 알아보기 위해 10kV 와 20kV 의 두 경우의 가속전압에 대해 패터닝 결과를 비교하였으며, 노광량이 360 $\mu\text{C}/\text{cm}$ 과 410 $\mu\text{C}/\text{cm}$ 에 대한 결과를 Fig. 7 에 나타내었다. 노광 결과, 가속전압이 20kV 인 경우가 10kV 의 경우 보다 패턴 선폭이나 간격이 설계 값에 더 근접해 있음을 알 수 있으며, 이는 가속 전압이 큰 경우 빔전류가 증가하므로 같은 노광량일 경우 한 spot 에 머무르는 시간이 줄어들어 전자들의 산란에 의한 영향을 줄일 수 있기 때문이다. 또한, Fig. 6, 7 을 통해 노광량이 증가할수록 한 spot 에 머무는 시간이 길어지게 되는데 이로 인해 패턴의 선폭이 넓어지는 것을 알 수 있다.

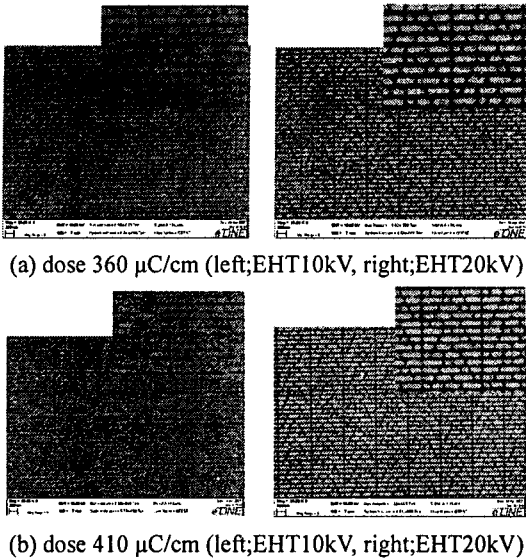


Fig. 7 The pattern results according to EHT

앞에서 기술한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 가속전압 20kV, aperture 의 크기가 10 μ m 에서 380 μ C/cm 의 노광량을 가질 때, Fig. 8 과 같이 직선 형태로 배열된 단위 패턴들의 길이가 각각 50nm, 100nm, 150nm, 200nm 로 정확히 재현되었으며, 선폭의 경우 52.1nm 로 설계대비 약 5% 이내의 정밀도로 제작되었다.

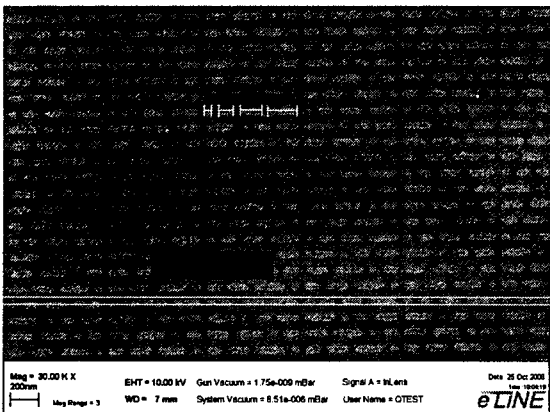
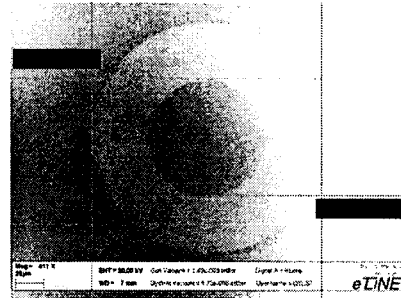


Fig. 8 The optimized discontinuous line pattern with 50nm scale using the e-beam lithography

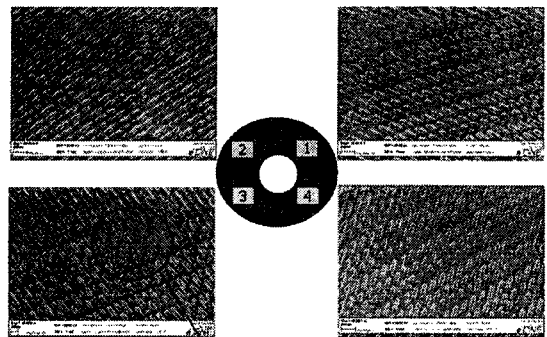
이러한 최적 노광 조건을 기반으로 하여, 안지름이 80 μ m, 바깥지름이 160 μ m 인 영역에 원형으로

배열된 50nm 급 구조물 패턴을 제작하였다.

Fig. 9 에 앞에서 구한 최적의 공정 조건을 적용하여 제작한 50nm 급 구조물의 원형 배열 패턴 마스터의 측정 사진을 나타내었으며, 설계대비 5% 이내로 정밀하게 제작되어 있음을 알 수 있다.



(a) In the whole region



(b) In the middle region

Fig. 9 The FE-SEM image of discontinuous spiral pattern

이렇게 제작된 ER 패턴 마스터는 니켈 스템퍼 제작을 위한 템플레이트로 직접 사용되거나, 혹은 남아있는 ER 층을 에칭마스크로 사용한 건식식각을 통해서 실리콘 마스터로 제작된다.

4. 결론

본 연구에서는 50nm 급 구조물이 원형으로 주기적으로 배열된 패턴의 마스터 제작을 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해서 우선, 구조물의 원형 배열이 가능한 패턴 설계 프로그램을 작성하고, 설계된 형상 데이터를 직접 상용화된 e-beam writing 장비에 적용할 수 있도록 하였으며, 이를 통해서 전자빔 리소그래피에서 상용적으로 사용되는 설계 프로그램 및 CAD(Computer Aided Design)의 문제점인 불연속 곡선형 패턴의 설계문제를 극복할 수 있었다. 또한, 설계된 50nm 급 구조물의 원형 배열 패턴 마스터를 제작하기 위한 전자빔 리소그래피의 주요 공정 변수에 대한 최적 조건을 도출하여 디자인된 단위 패턴들의 길이가 50nm, 100nm, 150nm, 200nm 로 정확히 재현되었으며, 선폭의 경우 52.1nm 로 설계대비 약 5% 이내의 정밀한 PR 패턴 마스터를 제작하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21 세기 프론티어연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원(07K140100520)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Sumio, H., Hayato, S., Yoshitaka, T., Toshimichi, S., Keizo, K. and Toshiharu, S., "SNOM Imaging of very fine pits formed by EB lithography of ultrahigh density optical recording," *Microelectronic Engineering*, Vol. 67-68, Issue 1, pp. 728-735, 2003.
2. Seo, Y. H., Choi, D. U., Lee, J. H., Yoo, Y. E., Je, T. J. and Whang, K. H., "Fabrication of Nanoscale Reusable Quartz Master for Nano Injection Molding Process," *Trans of KSME(A)*, Vol. 29, No. 2, pp. 228-231, 2005.
3. Michael, J. W., Adesida, I. and Paul, R. B., "Nanometer-period gratings in hydrogen silsesquioxane fabricated by electron beam lithography," *Journal of Vacuum Science Technology*, Vol. 21, Issue 6, pp. L12-L15, 2003.
4. Yoshihiko, H., Satoshi, H., Satoshi, I., Michio, K. and

Yoshio, T., "Nanoimprint lithography using replicated mold by electroforming," *Appl. Phys.*, Vol. 41, No. 6B, pp. 4186-4189, 2002.

5. Oh, S. H., Choi, D. S., Kim, C. S. and Jeong, M. Y., "PDMS Stamp Fabrication for Photonic Crystal Waveguides," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 24, No. 4, pp. 153-158, 2007.