

광학 그레이팅의 사출성형제작을 위한 전자빔과 무반사 코팅층이 없는 크롬/쿼츠 마스크를 이용한 고종횡비 100nm 급 니켈 스탬퍼의 제작

서영호[†] · 최두선* · 이준형* · 제태진* · 황경현*

(2004년 6월 29일 접수, 2004년 9월 16일 심사완료)

Fabrication of High Aspect Ratio 100nm-Scale Nickel Stamper Using E-Beam Writing based on Chrome/Quartz Mask Without Anti-Reflection Layer for Injection Molding of Optical Grating Patterns

Young Ho Seo, Doo-Sun Choi, Joon-Hyung Lee, Tae-Jin Je, and Kyung-Hyun Whang

Key Words : Nickel Stamper(니켈 스탬퍼), E-Beam Lithography(E-Beam 리소그래피), Injection Molding(사출성형), High Aspect Ratio(고 종횡비)

Abstract

We present a fabrication method of high aspect ratio 100nm-scale nickel stamper using e-beam writing for the injection molding of optical grating patterns. Conventional nickel stamper is fabricated by nickel electroplating process which is followed by seed layer deposition. In this paper, we have used chrome coated blank mask without anti-reflection layer of CrON in order to simplified electroplating process. In experimental study, we have optimized electron-beam dosage for 100nm-scale optical grating patterns with 2.5-aspect ratio, and fabricated nickel stamper using above grating patterns as PR mold. Fabricated nickel stamper have showed height of $240\pm 20\text{nm}$ and width of $116\pm 6\text{nm}$.

1. 서론

최근 평판형 디스플레이의 수요 증가로 BLU (Back Light Unit)이나 광통신용 그레이팅의 대면적화 및 초미세화가 관심의 대상이 되고 있다. 본 연구에서는 광부품의 대면적 및 초미세화 공정에 유리한 사출공정을 위한 니켈 스탬퍼(stamper)의 제작에 초점을 맞추었다. 일반적으로 리소그래피 공정에 사용되는 mask 를 만들 때 blank mask 를 사용하게 되는데, 이와 같은 크롬 마스크는 쿼츠를 기판으로 하며, 그 위에 크롬층과 감광제가 코팅되어 있다. 이 크롬층은 리소그래피 공정에서 UV 의 반사를 막아주는 무반사(Anti-Reflection) 코팅층인 CrON 과 그 밑에 UV 차광막으로 사용되

는 Cr(94%Cr-6%C)층으로 구성되어 있다.⁽¹⁻³⁾ 즉, 일반적인 blank mask 는 Fig. 1(a)와 같이 PR/CrON/Cr/Qz 의 순서로 구성되어 있다. 또한, 일반적으로 도금공정을 이용하여 사출성형용 니켈 스탬퍼를 제작하는 공정은 쿼츠나 유리 기판위에 PR 를 코팅한 후, 레이저 직접 묘화법이나, 전자빔 직접 묘화법으로 PR 를 패터닝하고, PR 을 몰드로 사용하여 도금공정을 수행하게 된다.⁽⁴⁻⁶⁾ 이와 같이 PR 을 몰드로 하는 니켈 도금공정에서는 seed 의 증착이 필수적이다. 이와는 다르게 Lab-On-A-Chip 같은 마이크로 유체소자는 그 최소 폭이 $10\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 의 크기를 가지고 있어 마이크로 몰딩 기술을 이용하여 제작하는 경우가 있다. 이러한 경우에는 UV 노광공정을 통하여 SU-8 과 같은 폴리머를 스탬퍼로 사용하게 된다.^(7,8) 그러나 SU-8 과 같은 폴리머의 경우 강도나 녹는점이 낮아 PC (polycarbonate)나 PMMA (polymethylmethacrylate) 같은 재료를 replica 로 사용할 경우에는 적용할 수가 없다.

[†] 책임저자, 회원, 한국기계연구원 나노공정그룹

E-mail : yhseo@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7079 FAX : (042)868-7149

* 한국기계연구원

본 연구에서는 마이크로 본 연구에서는 리소그라피 공정에 사용되는 크롬 마스크에 무반사 코팅층이 제거된 PR/Cr/Qz blank mask(Fig. 1(b))를 사용하여 전자빔 노광공정을 최적화함으로써 크롬층을 seed 층으로 사용하여 니켈 도금공정에서 seed 층 증착공정없이 니켈 도금을 수행하는 방법을 제안하였다. 전자빔을 이용한 마스크 제작공정은 무반사 코팅층이 있는 blank mask 를 기준으로 설정되어 있으므로, 무반사 코팅층이 없는 경우에는 전자빔 주사량의 최적양을 다시 설정해야 한다. Fig. 2 과 Fig. 3 는 각각 기존의 레이저 노광공정을 이용한 니켈 스탬퍼의 제작공정과 무반사 코팅층이 없는 PR/Cr/Qz mask 를 이용한 니켈 스탬퍼의 제작공정을 각각 나타낸다. Fig. 3 에서 보듯이 PR/Cr/Qz mask 를 사용하면 seed 층을 증착공정 없이 니켈 도금공정을 수행할 수 있다.

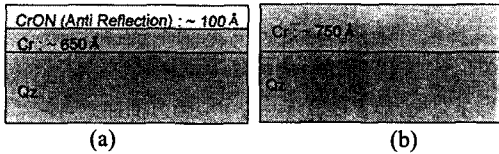


Fig. 1 Comparison of the configuration of blank masks: (a) Blank mask with anti-reflection layer (CrON/Cr/Qz mask); (b) Blansk mask without anti-reflection layer (Cr/Qz mask)

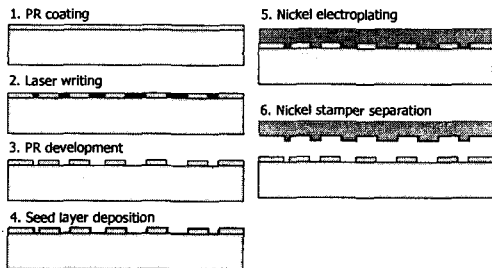


Fig. 2 Fabrication process of conventional nickel stamper

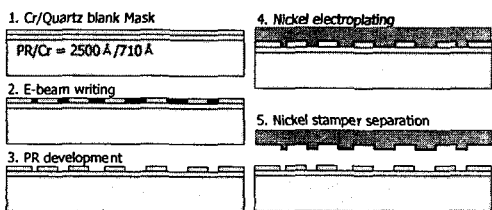


Fig. 3 Fabrication process of present nickel stamper based on Cr/Quartz mask

2. 설계

시편은 pitch(line+space) 0.5 μ m, pitch 1.0 μ m, pitch 2.0 μ m 그리고, pitch 4.0 μ m 로 각각 type1, 2, 3, 4 로 구성하였으며, type1 의 경우, line 폭은 100nm 부터 400nm 까지 Table 1 에서 보듯이 9 개 단계로 하였고, 나머지 시편의 경우에도 각각의 pitch 에 맞게 9 단계로 line 과 space 폭을 결정하였다. PR 몰드를 제작할 때, 전자빔 주사량의 최적량을 구하기 위해서 Fig. 4 에서 보듯이 6 인치 blank mask 전체에 9 개의 영역을 정의하여 3 개의 영역을 하나의 전자빔 주사량으로 결정하여 3 개의 서로 다른 영역에서 전자빔 주사량에 따른 패턴을 제작하고 그 정밀도를 측정하고자 하였다. Figure 4 에 각각의 영역에 주사되는 전자빔 주사량을 표시하였으며, 팔호 위의 주사량은 PR/CrON/Cr/Qz mask 의 실험 조건을, 팔호 안의 크기는 PR/Cr/Qz maks 의 실험 조건을 각각 나타낸다. Fig. 5 는 Fig. 4 의 A 부분을 확대한 설계 시편의 개략도를 나타내며, 전체 크기는 10mm \times 10mm 로 구성되어 있다. 여기에 2.1 절의 내용을 입력한다.

3. 제작공정 및 제작결과

3.1 PR Mold

먼저, 니켈 도금공정에 사용될 PR 몰드의 제작을 수행하여야 한다. PR 몰드 제작에 대한 최적의 전자빔 주사량을 결정하기 위해서 기존의 실험을 바탕으로, PR/CrON/Cr/Qz mask 의 경우, 9.0 μ C/cm², 10.0 μ C/cm², 11.0 μ C/cm² 의 3 단계의 주사량에 대해서 실험했으며, PR/Cr/Qz mask 의 경우에는 8.0 μ C/cm², 8.5 μ C/cm², 9.0 μ C/cm² 의 3 단계의 주사량에 대해서 패턴링 실험을 수행하였다. Fig. 6 는 PR/CrON/Cr/Qz mask 와 PR/Cr/Qz mask 를 이용하여 전자빔 노광공정으로 제작된 PR 몰드를 각각 나타내며, 설계된 치수와 제작된 치수의 오차를 Fig. 7 과 Fig. 8 에 각각 나타내었다.

Table 1 Dimension of nano-grating structure in Fig. 2

Type1 (pitch : 0.5 μ m)		Type2 (pitch : 1.0 μ m)		Type3 (pitch : 2.0 μ m)		Type4 (pitch : 4.0 μ m)	
Line	Space	Line	Space	Line	Space	Line	Space
0.10	0.40	0.1	0.9	0.1	1.9	0.1	3.9
0.13	0.37	0.2	0.8	0.3	1.7	0.5	3.5
0.15	0.35	0.3	0.7	0.5	1.5	1.0	3.0
0.20	0.30	0.4	0.6	0.7	1.3	1.5	2.5
0.25	0.25	0.5	0.5	0.9	1.1	2.0	2.0
0.30	0.20	0.6	0.4	1.1	0.9	2.5	1.5
0.35	0.15	0.7	0.3	1.3	0.7	3.0	1.0
0.37	0.13	0.8	0.2	1.5	0.5	3.5	0.5
0.40	0.10	0.9	0.1	1.7	0.3	3.9	0.1

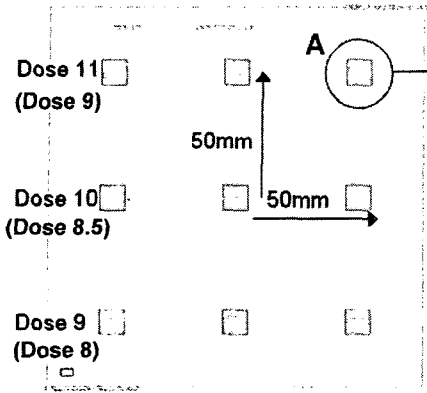


Fig. 4 Overall view of blank mask for optimizing e-beam dosage

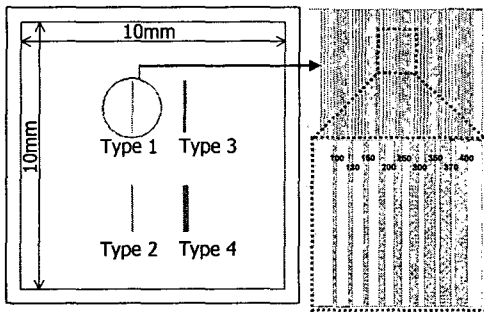
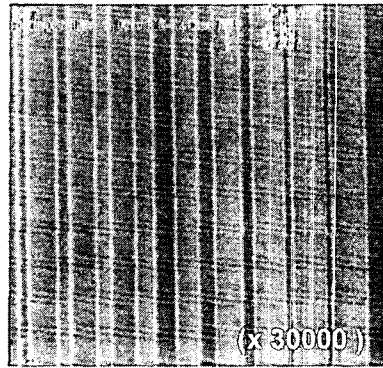


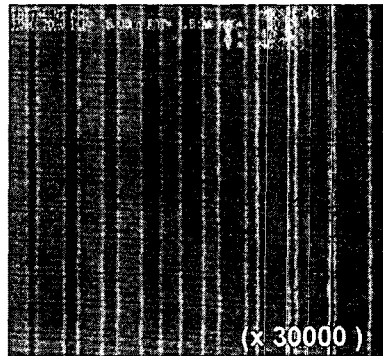
Fig. 5 Schematic view of nano-grating structures

PR/CrON/Cr/Qz mask의 경우, $9.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 패턴이 덜 현상되는 under process를 $11.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 패턴이 무너지는 over process를 $10.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 최적의 패터닝 결과를 나타내었다. Figure 7에서 보듯이 제작된 PR 몰드는 $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 설계값과 비교하여 Type1을 기준으로 최대 16nm의 오차를 보였다.

PR/Cr/Qz mask의 경우에는 $8.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 under process를, $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 최적의 패턴을, $9.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 over process를 각각 나타내었으며, Fig. 8에서 보듯이 $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 Type1을 기준으로 최대 24nm의 오차를 각각 나타내었다. 이와 같은 결과는 측정오차를 고려할 경우, PR/CrON/Cr/Qz mask와 PR/Cr/Qz mask 모두 적절한 패터닝 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 따라서 PR/Cr/Qz mask를 사용하여 seed층 증착공정 없이 니켈 도금공정을 수행하여 니켈 스탬퍼 제작을 수행하고자 하였다.



(a)



(b)

Fig. 6 SEM images of the fabricated PR mold using blank mask and E-beam lithography: (a) PR mold on the CrON/Cr/Qz mask at $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$; (b) PR mold on the Cr/Qz mask at $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$

3.2 Nickel Stamper

제작된 PR 몰드용 PR/Cr/Qz mask의 Cr 층이 100Ω의 저항을 나타내었다. 이때 저항은 probe station과 밀리미터를 사용하여 측정하였다. 100Ω의 저항으로 인해 니켈 도금공정 시 seed층으로 작용하는 Cr이 전기적 데미지를 받았다. 100Ω의 저항은 본 연구에서 사용된 PR/Cr/Qz mask의 70nm의 Cr층 두께가 너무 얇음을 의미한다. 니켈 도금공정을 수행하기 위해 120nm의 니켈을 추가적으로 증착을 수행하여 10Ω이하의 저항을 얻었다. 이와 같이 seed층을 증착하게 되면 120nm 두께의 니켈이 100nm의 패턴은 over-deposition되어 추후 도금공정에서도 패턴의 정밀도에서는 영향을 받지 않게 된다. 추후 공정에서는 Cr 두께를 250nm 이상 증착한 PR/Cr/Qz mask를 사용하면 추가적인 seed층 증착공정 없이 니켈도금을 수행할 수 있을 것이다. Fig. 9는 이와 같이 제작된 Type1, 2, 3, 4 니켈 스탬퍼의 SEM 사진을 각각 나타낸다. 도금된 니켈층의 두께는 약 $330\pm 20\mu\text{m}$

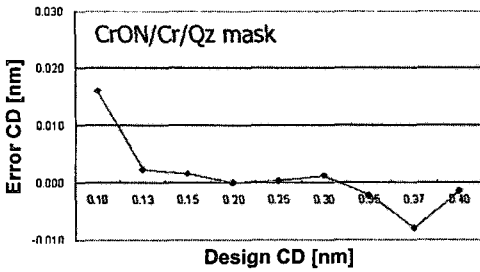


Fig. 7 Comparison of designed PR line width with measured PR line width of type 1 specimen in the CrON/Cr/Qz mask at optimal e-beam dose of $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$: Maximum error in type 1 is 16nm

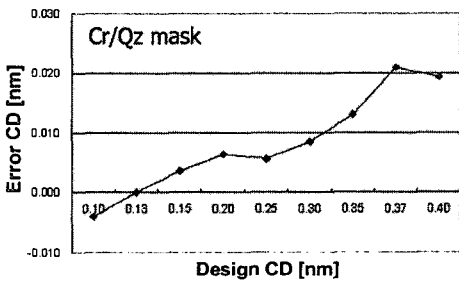


Fig. 8 Comparison of designed PR line width with measured PR line width of type 1 specimen in the Cr/Qz mask at optimal e-beam dose of $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$: Maximum error in type 1 is 24nm

이며, SEM 사진을 통한 선폭 측정에서는 제작된 니켈 스탬퍼의 최소 선폭이 $116\pm 6\text{nm}$ 로 측정되었다. Figure 10 은 제작된 니켈 스탬퍼의 두께를 측정하기 위해 AFM 측정을 수행한 결과를 나타내며, 측정된 두께는 약 $240\pm 20\text{nm}$ 로 초기 PR 몰드 두께인 250nm 와 거의 일치함을 알 수 있다. AFM 측정에서 선폭이 완벽하게 나타나지 않은 것은 종횡비가 3 에 가까운 시편이라 AFM tip 이 정확히 측정 못한 결과이다. 제작된 니켈 스탬퍼의 두께를 측정한 결과를 PR 몰드 치수와 비교한 결과를 Fig. 11 에 나타냈으며, Type1 을 기준으로 최대 20nm 의 오차를 보이며 제작되었다.

4. 결론

본 연구에서는 전자빔 노광공정과 마스크 제작 공정을 사용하여 seed 층 증착없이 사출성형용 100nm 급 니켈 스탬퍼를 제작하는 방법을 제안하였으며, 실험적으로 무반사층이 없는 PR/Cr/Qz

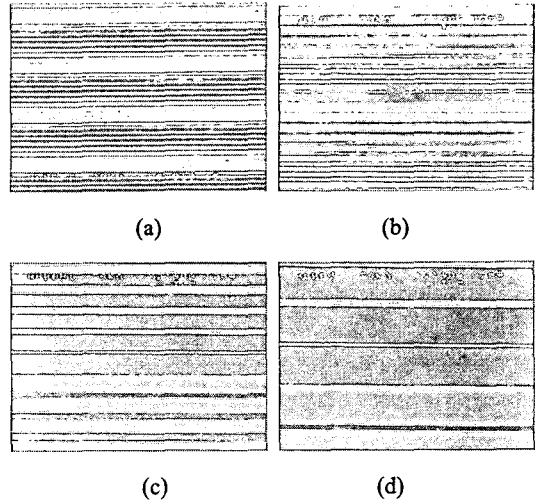


Fig. 9 SEM image of the fabricated nickel stamper using Cr/Qz mask: : (a) Type 1 : $0.5\mu\text{m}$ -pitch, $\text{CD}_{\text{min}}=0.1\mu\text{m}$, $\text{CD}_{\text{max}}=0.4\mu\text{m}$; (b) Type 2 : $1.0\mu\text{m}$ -pitch, $\text{CD}_{\text{min}}=0.1\mu\text{m}$, $\text{CD}_{\text{max}}=0.9\mu\text{m}$; (c) Type 3 : $2.0\mu\text{m}$ -pitch, $\text{CD}_{\text{min}}=0.1\mu\text{m}$, $\text{CD}_{\text{max}}=1.9\mu\text{m}$; (d) Type 4 : $4.0\mu\text{m}$ -pitch, $\text{CD}_{\text{min}}=0.1\mu\text{m}$, $\text{CD}_{\text{max}}=3.9\mu\text{m}$

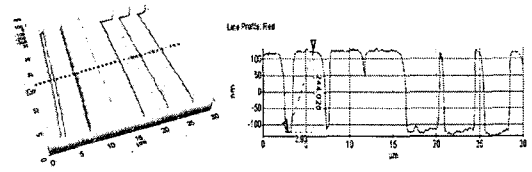


Fig. 10 AFM image of the fabricated nickel stamper of type 4: The height of the nickel stamper is $240\text{nm}\pm 20\text{nm}$

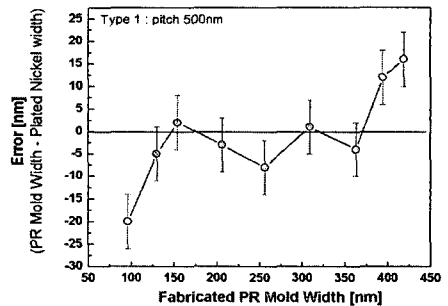


Fig. 11 Comparison of PR mold line width with nickel stamper line width of type 1 specimen in the Cr/Qz mask at optimal e-beam dose of $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$: Maximum error in type 1 is 20nm

mask 의 최적 노광조건을 확립하였다. PR/CrON/Cr/Qz mask 의 경우, $10.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 최적의 패터닝 결과를 나타내었으며, 제작된 PR 몰드는 최적조건에서 100nm 의 설계 선폭과 비교하여 16nm 의 오차를 보였다. PR/Cr/Qz mask 의 경우에는 최적의 노광 조건인 $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 100nm 의 설계 선폭에 대해 24nm 의 오차를 각각 나타내었다. PR/Cr/Qz mask 를 사용하여 도금 공정을 통해서 약 $330\pm 20\mu\text{m}$ 두께로 도금을 수행하였으며, 제작된 100nm 급 그레이팅 니켈 스탬퍼는 선폭이 $116\pm 6\text{nm}$ 이고 높이가 $240\pm 20\text{nm}$ 로 측정되어 종횡비 약 2.1 로 측정되었다. 본 연구에서는 도금공정을 단순화할 수 있는 100nm 급 니켈 스탬퍼의 제작공정을 제안하고 이를 실험적으로 검증하였다.

후 기

본 연구는 21 세기 프론티어연구개발사업인 나노메카트로닉스기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다

참고문헌

- (1) Timp, G., 1999, *Nanotechnology*, Springer.
- (2) Kovacs, G. T. A., 1998, *Micromachined Transducers*, McGraw-Hill.
- (3) Nakagawa, Y., Komagata, T., Kawase, Y. and Gotoh, N., 2003, "Development of the JBX-3030MV Mask Making E-Beam Lithography System," *JEOL News*, Vol. 38, No. 1.
- (4) Bifano, T. G., Fawcett, H. E. and Bierden, P. A., 1997, "Precision Manufacture of Optical Disc Master Stampers," *Precision Engineering*, Vol. 20, Issue 1, pp. 53~62.
- (5) Kim, Y., Lee, N., Kim, Y.-J. and Kang, S., 2004, "Fabrication of Metallic Nano-Stamper and Replication of Nano-Patterned Substrate for Patterned Media," *NSTI-Nanotech 2004*, pp. 452~455.
- (6) Yoon, S., Srirojpinyo, C., Lee, J., Sung, C., Mead, J.L. and Carol, M.F., 2004, "Investigation of Tooling Surfaces on Injection Molded Nanoscale Features," *NSTI-Nanotech 2004*, pp. 460~463.
- (7) Doh, I., Seo, K.-S. and Cho, Y.-H., 2004, "A Continuous Cell Separation Chip Using Hydrodynamic Dielectrophoresis Process," *IEEE MEMS 2004*, pp. 29~32.
- (8) Jeong, K.-J., Liu, G.L., Chronis, N. and Lee, L.P., 2004, "Tunable Microdoublet Lens Array," *IEEE MEMS 2004*, pp. 37~40.