

전자빔과 무반사층이 없는 크롬 마스크를 이용한 나노그레이팅 사출성형용 고종횡비 100nm 급 니켈 스탬퍼의 제작

서영호[†] · 최두선* · 이준형* · 제태진* · 황경현*

Fabrication of High Aspect Ratio 100nm-scale Nickel Stamper Using E-beam Lithography for the Injection molding of Nano Grating Patterns

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

Key Words : 100nm Nickel Stamper(100 나노급 니켈 스탬퍼), High Aspect Ratio(고종횡비), E-beam Lithography(전자빔 노광공정), Cr/Qz Mask(크롬/켈즈 마스크), Nickel Electroplating(니켈 도금)

Abstract

We present high aspect ratio 100nm-scale nickel stamper using e-beam lithography process and Cr/Qz mask for the injection molding process of nano grating patterns. Conventional photolithography blank mask (CrON/Cr/Qz) consists of quartz substrate, Cr layer of UV protection and CrON of anti-reflection layer. We have used Cr/Qz blank mask without anti-reflection layer of CrON which is non-conductive material and e-beam lithography process in order to simplify the nickel electroplating process. In nickel electroplating process, we have used Cr layer of UV protection as seed layer of nickel electroplating. Fabrication conditions of photolithography mask using e-beam lithography are optimized with respect to CrON/Cr/Qz blank mask. In this paper, we have optimized e-beam lithography process using Cr/Qz blank mask and fabricated nickel stamper using Cr seed layer. CrON/Cr/Qz blank mask and Cr/Qz blank mask require optimal e-beam dosage of $10.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ and $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$, respectively. Finally, we have fabricated $116\text{nm}\pm 6\text{nm}$ -width and $240\text{nm}\pm 20\text{nm}$ -height nickel grating stamper for the injection molding pattern.

1. 서 론

최근 정보통신 기술의 발달로 광통신의 수요가 급증하여, 저가의 광신호의 조작 및 제어기술의 요구되고 있다. 이러한 광신호 조작 및 제어 기술에서 기본이 되는 것이 나노 그레이팅 구조이다. 본 연구에서는 사출공정을 통한 나노 그레이팅 패턴의 제작공정을 위한 니켈 스탬퍼의 제작공정에 대해 기술하고, 전자빔과 무반사 코팅층이 없는 Cr/Qz blank mask 를 이용한 니켈 스탬퍼의 제작공정을 제안한다.

리소그래피공정에 사용되는 크롬 마스크는 켈

즈를 기판으로 하며, 그 위에 크롬층이 증착되어 있다. 이 크롬층은 리소그래피 공정에서 UV 의 반사를 막아주는 무반사(Anti-Reflection) 코팅층인 CrON 과 그 밑에 UV 차광막으로 사용되는 Cr(94%Cr-6%Cr)층으로 구성되어 있다.[1] 즉, 일반적인 blank mask 는 PR/CrON/Cr/Qz 의 순서로 구성되어 있다.(Fig.1(a))

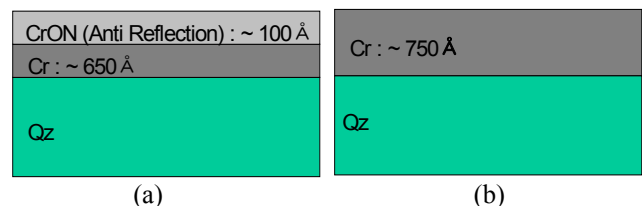


Fig.1 Comparison of the configuration of blank masks: (a) Blank mask with anti-reflection layer (CrON/Cr/Qz mask); (b) Blank mask without anti-reflection layer (Cr/Qz mask).

[†] 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

E-mail : yhseo@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7879 FAX : (042)868-7149

* 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

또한, 일반적으로 도금공정을 이용하여 사출 성형용 니켈 스탬퍼를 제작하는 공정은 켈즈나 유리 기판위에 PR 을 코팅한 후, 레이저 직접 묘화 법이나, 전자빔 직접 묘화법으로 PR 을 패터닝하고, PR 을 몰드로 사용하여 도금공정을 수행하게 된다.[2] 이와 같이 PR 을 몰드로 하는 니켈 도금 공정에서는 seed 의 증착이 필수적이다.

본 연구에서는 리소그래피공정에 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 증착공정 없이 니켈 도금을 수행하였다. 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 층 증착 공정없이 니켈 도금공정을 수행할 수 있다.

2. 나노 그레이팅 패턴의 설계

2.1 치수설계

본 연구에서는 먼저 무반사 코팅층인 CrON 층이 없는 Cr/Qz blank mask 를 이용하여 전자빔 리소그래피공정을 수행하므로, 기존에 CrON/Cr/Qz blank mask 에 최적화되어 있는 전자빔 리소그래피 공정을 수정하여 Cr/Qz blank mask 에 최적화 시키는 공정이 선행되어야 한다. 따라서, 패턴의 치수에 따른 전자빔 주사량의 영향을 확인하기 위해서 4 가지 각기 다른 pitch 를 가진 시편을 설계하였다. 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. Fig.4 은 설계된 시편의 개략도를 나타내며, 전체크기는 10mm \times 10mm 로 구성되어 있다.

Table 1. Dimension of nano-grating structure in Fig.4

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
0.1	0.4	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
0.2	0.3	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
0.3	0.2	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
0.4	0.1	0.9	0.1	1.7	0.3	3.9	0.1

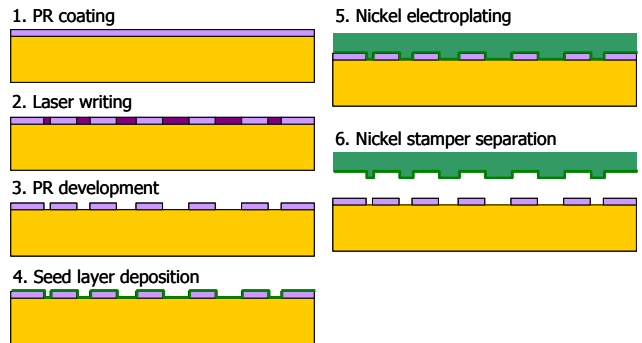


Fig.2 Fabrication process of conventional nickel stamper.

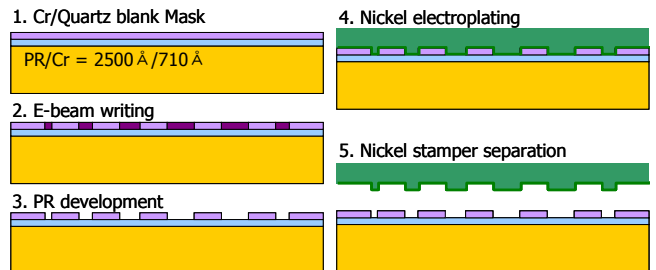


Fig.3 Fabrication process of present nickel stamper based on Cr/Quartz mask.

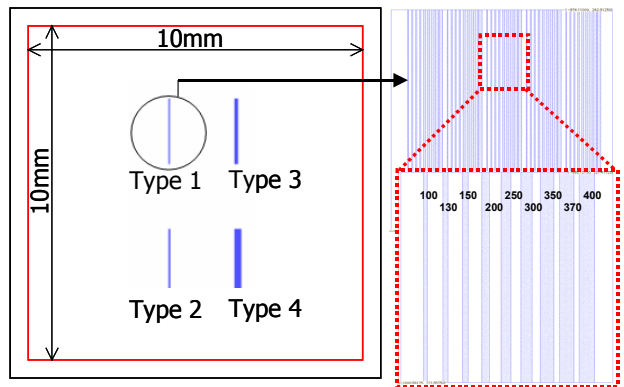


Fig.4 Schematic view of nano-grating structures.

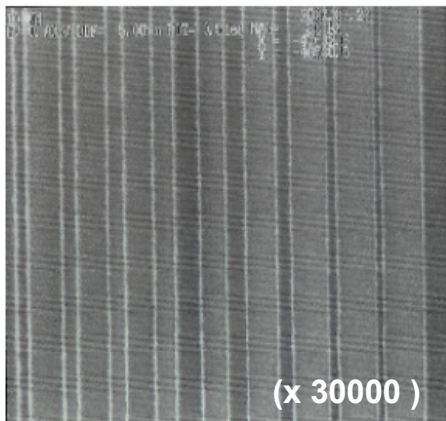
2.2 공정설계

무반사 코팅층이 전자빔 리소그래피공정에 미치는 영향을 확인하기 위해서 무반사 코팅층이 있는 일반적인 CrON/Cr/Qz blank mask 와 무반사 코팅층을 제거한 Cr/Qz blank mask 를 사용하여 각각 최적의 전자빔 주사량을 결정하고자 하였다. 전자빔 주사량은 기존의 공정조건을 바탕으로 결정하였으며, 6 인치 blank mask 를 이용하여 공정을 수행하였다.

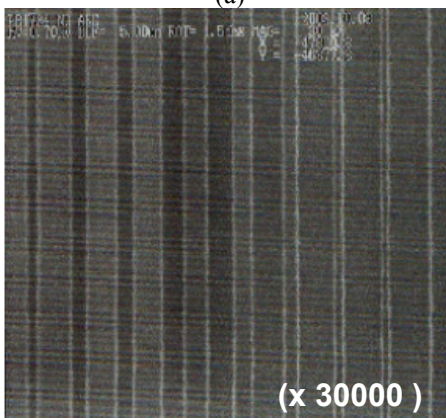
3. 나노 그레이팅 패턴의 제작 및 결과

3.1 PR 몰드 제작 및 측정결과

최적의 전자빔 주사량을 결정하기 위해서 기존의 실험을 바탕으로, PR/CrON/Cr/Qz mask 의 경우, $9.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$, $10.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$, $11.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 의 3 단계의 주사량에 대해서 실험했으며, PR/Cr/Qz mask 의 경우에는 $8.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$, $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$, $9.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 의 3 단계의 주사량에 대해서 패터닝 실험을 수행하였다.



(a)



(b)

Fig.5 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 $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$.

Fig.5 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.6 과 Fig.7 에 각각 나타내었다. PR/CrON/Cr/Qz mask 의 경우, $9.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 패터닝이 덜 현상되는 under process 를 $11.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 패터닝이 무너지는 over process 를 $10.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 최적의 패터닝 결과를 나타내었으며, $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 설계값과 비교하여 Type1 을 기준으로 최대 16nm 의 오차를 보였다.(Fig.6) PR/Cr/Qz mask 의 경우에는 $8.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 under process 를, $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 최적의 패터닝을, $9.0\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 over process 를 각각 나타내었으며, Fig.7 에서 보듯이 $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 Type1 을 기준으로 최대 24nm 의 오차를 각각 나타내었다. 이와 같은 결과는 측정 오차를 고려할 경우, PR/CrON/Cr/Qz mask 와 PR/Cr/Qz mask 모두 적절한 패터닝 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 따라서 PR/Cr/Qz mask 를 사용하여 seed 층 증착공정없이 니켈 도금공정을 수행하여 니켈 스탬퍼 제작을 수행하였다.

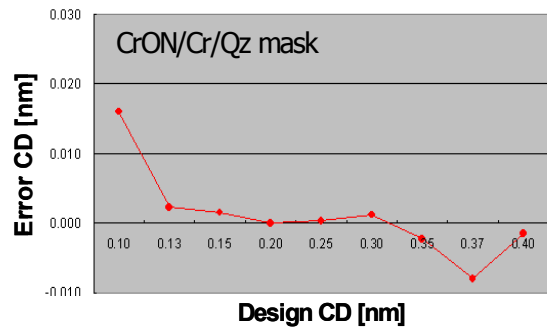


Fig.6 Comparison of designed PR line width with measured PR line width of type 1 specimen in the CrON/Cr/Qz mask at optimal e-beam dose of $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$: Maximum error in type 1 is 16nm.

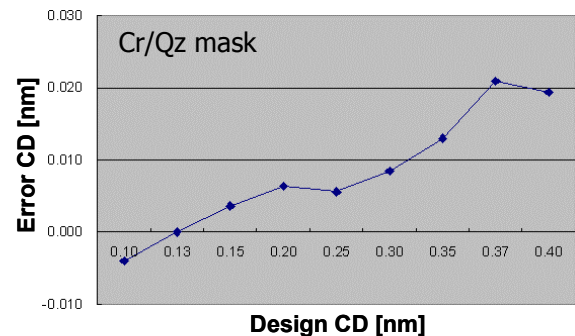
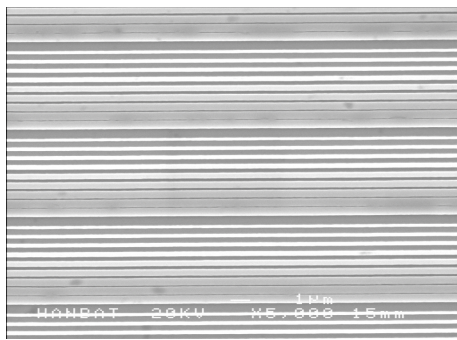
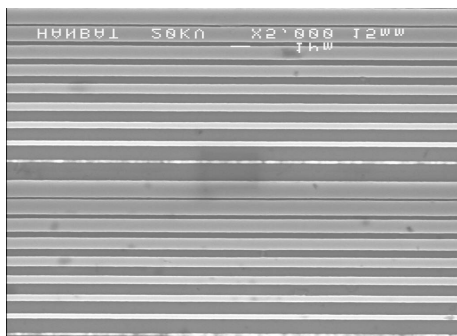


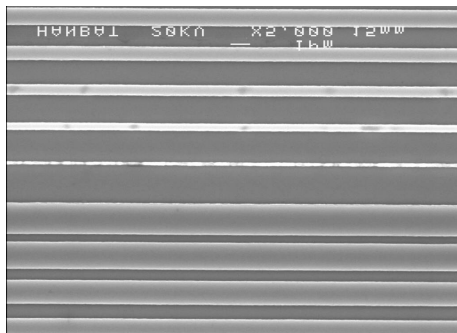
Fig.7 Comparison of designed PR line width with measured PR line width of type 1 specimen in the Cr/Qz mask at optimal e-beam dose of $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$: Maximum error in type 1 is 24nm.



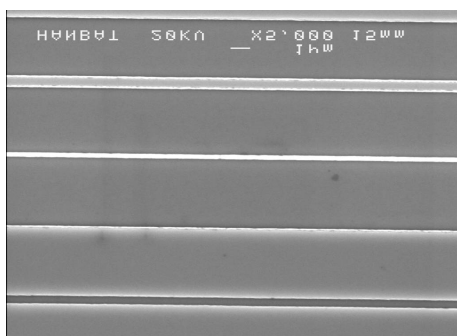
(a)



(b)



(c)



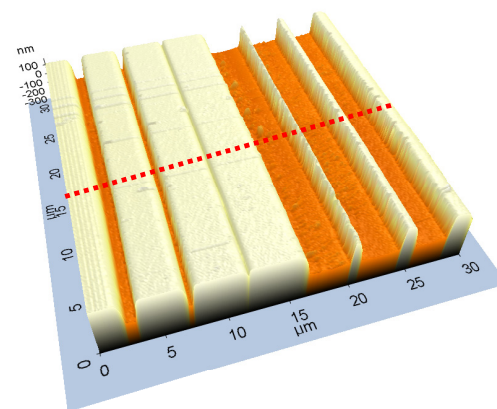
(d)

Fig.8 SEM image of the fabricated nickel stamper using Cr/Qz mask: (a) Type 1 : $0.5\mu\text{m}$ -pitch, $CD_{\min}=0.1\mu\text{m}$, $CD_{\max}=0.4\mu\text{m}$; (b) Type 2 : $1.0\mu\text{m}$ -pitch, $CD_{\min}=0.1\mu\text{m}$, $CD_{\max}=0.9\mu\text{m}$; (c) Type 3 : $2.0\mu\text{m}$ -pitch, $CD_{\min}=0.1\mu\text{m}$, $CD_{\max}=1.9\mu\text{m}$; (d) Type 4 : $4.0\mu\text{m}$ -pitch, $CD_{\min}=0.1\mu\text{m}$, $CD_{\max}=3.9\mu\text{m}$.

3.2 Nickel Stamper 제작 및 측정결과

제작된 PR 몰드용 PR/Cr/Qz mask 의 Cr 층이 100Ω 의 저항을 나타내었다. 100Ω 의 저항으로 인해 니켈 도금공정시 seed 층으로 작용하는 Cr 이 전기적 데미지를 받았다. 100Ω 의 저항은 본 연구에서 사용된 PR/Cr/Qz mask 의 70nm 의 Cr 층 두께가 너무 얇음을 의미한다. 니켈 도금공정을 수행하기 위해 120nm 의 니켈을 추가적으로 증착을 수행하여 10Ω 이하의 저항을 얻었다. 추후 공정에서는 Cr 두께를 250nm 이상 증착한 PR/Cr/Qz mask 를 사용한다면 추가적인 seed 층 증착공정없이 니켈도금을 수행할 수 있을 것이다. Fig.8 은 이와 같이 제작된 type1,2,3,4 니켈 스탬퍼의 SEM 사진을 나타낸다..

Fig.9 는 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.10 에 나타냈으며, type1 을 기준으로 20nm 의 오차를 나타내었다.



Line Profile: Red

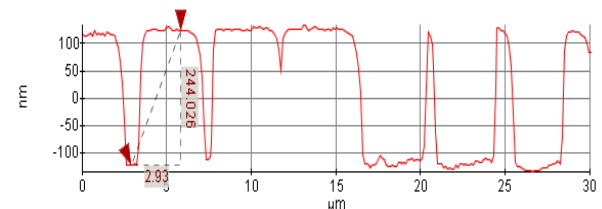


Fig.9 AFM image of the fabricated nickel stamper of type 4: The height of the nickel stamper is $240\text{nm}\pm 20\text{nm}$.

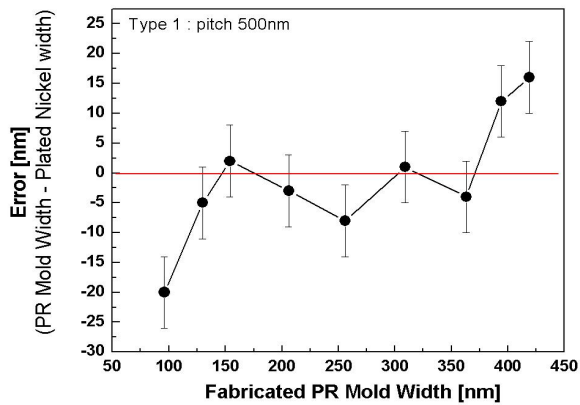


Fig.10 Comparison of PR mold line width with nickel stamper line width of type 1 specimen in the Cr/Qz mask at optimal e-beam dose of $8.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$: Maximum error in type 1 is 20nm.

4. 결론

본 연구에서 전자빔 노광공정과 마스크제작공정을 사용하여 seed 층 증착없이 니켈 스탬퍼를 제작하는 방법을 제안하였으며, 실험적으로 무반사층이 없는 PR/Cr/Qz mask 의 최적 노광조건을 확립하였다. 또한 PR/Cr/Qz mask 를 사용하여 중형비 2.5 의 100nm 급 그레이팅 니켈 스탬퍼를 제작 완료하였다. 본 연구에서 제안한 니켈 스탬퍼의 제작공정은 기존의 니켈 스탬퍼의 제작공정을 단순화하였고, 향후 사출공정을 이용하여 나노 그레이팅 패턴의 저가생산에 기여할 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 21 세기 프론티어 사업의 일환인 “나노메카트로닉스 기술개발사업”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) G. Timp, Nanotechnology, Springer. 1999.
- (2) G. T.A. Kovacs, Micromachined Transducers, McGraw-Hill,