

펨토초 레이저 리소그래피 기술을 이용한 Fresnel zone plate 제작 연구

손익부*, 노영철*[✉], 고명진**

*광주과학기술원 고등광기술연구소 미세광학연구실, **한국생산기술연구원

Fabrication of Fresnel zone plate with femtosecond laser lithography technology

I. B. Sohn*, Y. C. Noh*[✉] and M. J. Ko**

*Precision Optic Lab., Advanced Photonics Research Institute, GIST

**Korea Institute of Industrial Technology

Abstract

We fabricated the Fresnel zone plate using femtosecond laser lithography-assisted micro-machining, which is a combined process of nonlinear lithography and wet etching. We investigated the focusing properties by launching a 632.8nm wavelength He-Ne laser beam into the zone plate. The spot size of the primary focal point was 27 μ m and the intensity of focal point was 0.565W/cm².

Keywords: Femtosecond laser(펨토초 레이저), Lithography(리소그래피), Fresnel zone plate(프레넬 존 플레이트)

1. 서 론

펨토초 레이저 가공기술은 기존의 레이저 가공에서 힘든 마이크로미터 크기 혹은 그 이하의 정밀도로 가공이 가능하다는 것과 세라믹, 유리, 스테인리스강 등과 같이 기계 가공이 어려운 재료도 비교적 쉽게 가공할 수 있다는 측면에서 초정밀을 요하는 반도체, 전자, 광통신, 의료분야 등에서 다양하게 연구가 되고 있다. 특히, 펨토초 레이저는 마스크를 사용하지 않고 직접 삼차원 광학 소자를 제작할 수 있는 장점이 있어 최근 많은 연구가 이루어지고 있다.¹ 특히 펨토초 레이저를 이용하여 투명 재질 내부와 광섬유 표면에 고집적 FZP(Fresnel zone plate)를 제작하여 그 특성을 연구하였다.^{2,3} 최근에는 기존의 리소그래피 공정장비와 마스크 세트의 가격이 비싸기 때문에 대체 패터닝(patterning) 기술에 대한 요구가 증폭되고 있다. 리소그래피를 통해서 마스크 가격 문제를 해결 할 수 있다면 미세 가공 응용에서는 좀 더 효율적일 것이다. 펨토초 레이저는 이러한 마스크를 사용하지 않고 회절한계를 극복하여 PR(photo

resist) 패터닝 하는 것이 가능하다.^{4,5}

본 논문에서는 포토마스크를 사용하지 않고 펨토초 레이저를 이용하여 PR 패터닝을 하고 다시 식각(etching)과 스트리핑(stripping) 공정을 거쳐서 대표적인 회절 광학 소자인 FZP를 실리카 표면에 제작하였다. 제작된 FZP의 빔 프로파일을 측정하여 초점 부근에서의 레이저 빔의 강도를 계산하여 초점거리를 실험을 통해 확인하였다. 그리고 펨토초레이저 리소그래피 기술을 이용한 FZP 제작 과정에서 PR 패터닝, 식각, 스트리핑 결과들은 광학현미경(optical microscope)으로 측정하였다.

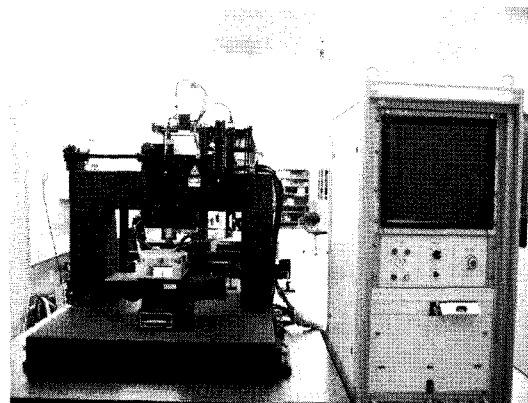


Fig. 1 Femtosecond laser material processing system.

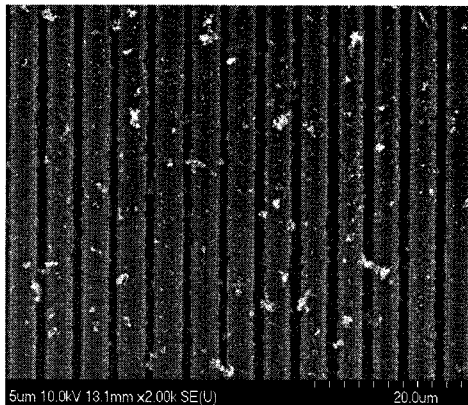
투고일 : 2011년 4월 1일 심사완료일 : 2011년 6월 7일

게재승인일 : 2011년 6월 21일

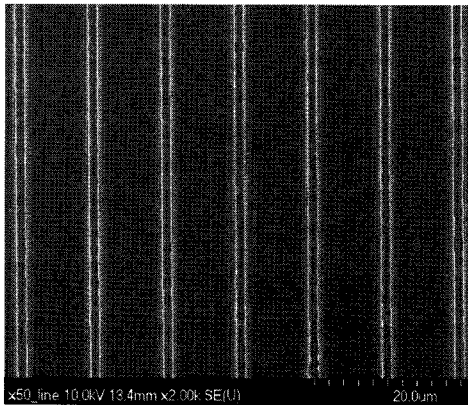
교신저자 : 노영철 ✉ ycnoh@gist.ac.kr

2. 실험

실험에 사용된 펨토초 레이저의 사양은 1030nm의 중심파장, 250fs의 펄스폭, 100kHz의 반복률을 가지며 최대 출력이 6W이다. 실험에 사용된 스테이지의 x,y축은 선형 모터 스테이지이며 300mm × 300mm의 가공 범위, 5nm의 분해능, 300mm/s의 최대 속력을 가지고 있으며, z축은 스텝 모터 스테이지로 100mm의 가공 범위를 가지고 각각 독립적으로 구동된다(Fig. 1). 사용된 레이저 가공 시스템은 펨토초 레이저와 빔 전송을 위한 광학계, x-y-z 스테이지로 구성된다. x-y 스테이지는 설계된 가공경로를 표현하고 z축 스테이지를 통해 가공 초점을 결정한다. 그 외에 레이저 빔을 가공물까지 전달하기 위한 광학 거울(mirror)과 출력 조절을 위한 감쇄기(attenuator)가 중간에 위치하고 있다.



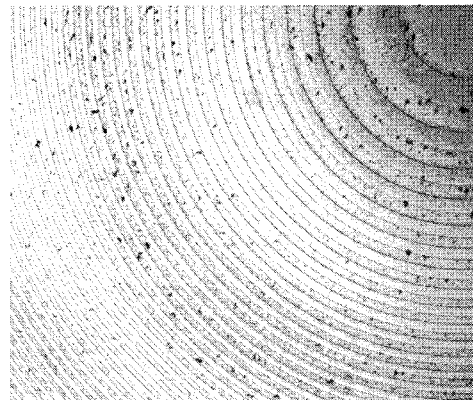
(a)



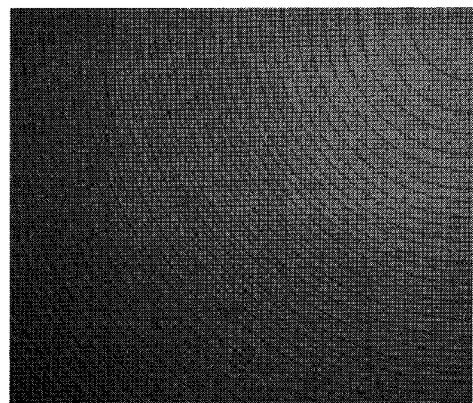
(b)

Fig 2 SEM image of PR patterns (a) directly ablated by femtosecond laser pulse with a pulse energy of 800nJ and scan speed of 50μm/s, and (b) fabricated by a femtosecond laser lithography at a laser pulse energy of 65nJ and a writing speed of 10μm/s.

펨토초 레이저 가공 시스템을 사용하여 가공 샘플에 레이저 빔을 대물렌즈로 집속하여 스테이지를 이송하면서 가공을 하게 된다. 다양한 형태의 가공프로그램과 CAD 프로그램을 이용한 정밀 가공이 가능하다. 펨토초 레이저 리소그래피 기술은 먼저 펨토초 레이저 펄스를 포토마스크를 사용하지 않고 PR에 직접 조사하게 되면 펨토초 레이저 펄스가 조사된 부분에 경화(polymerization)가 이루어지게 된다. 그 이후에 현상(development) 공정을 통하여 경화된 PR은 제거가 되어 원하는 형태의 PR 패터닝을 할 수 있다. 어블레이션에 의한 직접 PR 패터닝 방법에 비해 펨토초 레이저 리소그래피 기술은 debris 문제가 없이 깨끗한 형상을 가지게 된다(Fig. 2).



(a)



(b)

Fig 3 SEM image of Fresnel zone plate after (a) PR patterning, (b) chemical etching and PR stripping.

먼저 펨토초 레이저를 이용한 PR 패터닝을 위해서 310-440nm 파장 영역에서 흡수율이 높은 AZ GXR 601 PR을 사용하였다. 깨끗한 실리카(silica) 기판 위에 스펀 코팅기(spin coater)를 이용하여 먼저 HMDS(Hexa Methyl Di Silazane)를 코팅하고 이어서

PR은 4500rpm 속도로 코팅하였다. 그 이후에 섭씨 90도에서 30초간 PR을 약하게 베이킹(baking)하여 샘플을 완성 하였다.

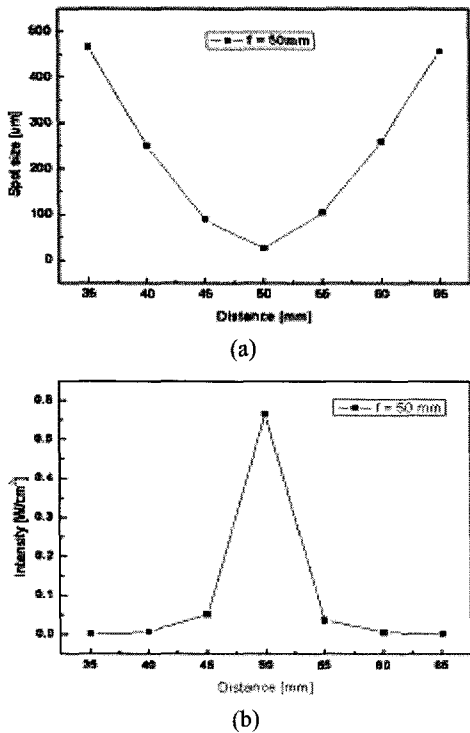


Fig. 4 (a) spot size and (b) intensity of Fresnel zone plate fabricated by femtosecond laser lithography at different distance.

FZP는 MathCAD를 사용하여 얻은 일정한 면적을 가지는 환들을 220nJ 의 펄스 에너지를 가지는 펄초 레이저 빔을 20×(NA: 0.4) objective lens를 통하여 집광하여 1mm/s의 속도로 이송하며 조사 하였다. 렌즈를 통해 집속된 펄초 레이저 빔을 이용한 가공 선폴은 5μm이며, 3μm간격으로 중첩 되게 하여 가공하는데 45분 정도 소요되었다. 이와 같이 1030nm 파장을 가지는 펄초 레이저를 이용하여 원하는 형태의 패턴 모양으로 펄초 레이저를 조사하여 경화하고 약 30초 정도 현상하였으며 현상용액(developer)은 AZ 300 MIF를 사용 하였다. 식각 하기 위해 현상공정을 거친 샘플을 hot plate 위에서 섭씨 120도에서 120초 간 PR을 하드 베이킹하였다. BOE(Buffered Oxide Etchant)를 6:1로 희석하여 6분간 실리카 기판을 습식 식각하였으며, EKC 830 positive PR stripper를 이용하여 마스크 역할을 하는 남아 있는 PR을 제거 하였다. 이와 같이 펄초 레이저 리소그래피 기술을 이용하여 실리카 표면에 50mm의 초점거리를

가지는 FZP를 제작 하였다. Fig. 3은 펄초 레이저 리소그래피 기술을 이용하여 제작된 FZP의 PR 패턴, 식각, 스트리핑 등 단계별 현미경 측정 결과이다. 제작된 FZP는 약 3.5mm 정도의 직경을 가진다. Fig. 4는 펄초 레이저 리소그래피 기술을 이용하여 제작된 FZP에 He-Ne(파장 632.8nm)를 조사 하여 거리에 따라 실험적으로 측정된 spot size와 intensity의 그래프를 보여주며, 제작된 FZP가 원하는 초점 거리에서 훌륭하게 빔을 집속 시켜 주는 것을 확인하였다. 이와 같이 마스크를 사용하지 않는 펄초 레이저 리소그래피 기술을 이용하여 50mm의 초점거리를 가지는 FZP를 제작하고 제작된 FZP의 빔 프로파일을 측정하여 초점 부근에서의 레이저 빔의 강도를 계산하여 초점거리를 실험을 통해 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 포토마스크를 사용하지 않는 펄초 레이저 리소그래피 기술을 이용하여 광학계에서 널리 쓰이는 Fresnel zone plate를 실리카 표면에 제작하였다. 실험적으로 측정된 spot size와 intensity 결과를 이용하여 제작된 FZP가 50mm의 초점 거리에서 정확하게 빔을 집속 시켜 주는 것을 확인 하였다. 앞으로 펄초 레이저 리소그래피 기술을 이용하여 기존의 반도체 공정이나 전자빔(E-beam) 리소그래피에 의존하던 다양한 분야에 응용할 수 있을 것으로 기대한다.

4. 후 기

This research was supported by Nano R&D program through the Korea Science and Engineering Foundation funded by the ministry of Education, Science and Technology.

References

- 1) R. R. Gattass and E. Mazur, "Femtosecond laser micromachining in transparent materials," Nature Photonics Vol. 2, No. 4, pp. 219-225, 2008.
- 2) W. Watanabe, D. Kuroda, and K. Itoh, "Fabrication

- of FZP embedded in silica glass by femtosecond laser pulses,” *Optics Express*, Vol. 10, No. 19, pp. 978-983, 2002.
- 3) J. K. Kim, J. Kim, K. Oh, I-B Sohn, W. Shin, H. Y. Choi and B. Lee, “Fabrication of micro Fresnel zone plate lens on a mode-expanded hybrid optical fiber using a femtosecond laser ablation system,” *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 21, No. 1, pp. 21-23, 2009.
- 4) J. Koch, E. Fadeeva, M. Engelbrecht, C. Ruffert, H. H. Gatzel, A. Ostendorf and B. N. Chichkov, “Maskless nonlinear lithography with femtosecond laser pulses,” *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, Vol. 82, Issue 1, pp. 23-26, 2006.
- 5) I. B. Sohn, M. J. Ko, Y. S. Kim, Y. C. Noh, “Direct femtosecond laser lithography for photoresist patterning,” *Optical Engineering*, Vol. 48, No. 2, 2009.