

전자빔의 독립 노광 방식을 이용한 마이크로 멀티레벨 렌즈 제작

Fabrication of a Micro Multi-Level Lens

Using the Independent-Exposure in Electron beam Lithography

*우도균¹, 하네 카즈히로², #이선규³

*D. K. Woo¹, K. Hane², #S. K. Lee³(skyee@gist.ac.kr)

¹ 광주과학기술원 기전공학과, ²Tohoku Univ. Nanomechanics, ³광주과학기술원 기전공학과

Key words : multi-level lens, independent-exposure in E-beam lithography, proximity effect, FAB plasma etching, non-repetitive process

1. 서론

최근 휴대용 인터페이스는 끊임없이 얇아지고 있으며 엔터테인먼트 중심으로 다양한 기능들이 포함되어 가고 있으나 display 한계로 인해 데이터를 효과적으로 다루고 있지 못하고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여 얇은 두께를 갖는 광 포인팅 장치 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 광 포인팅 장치의 얇은 두께를 만족시키기 위해 광학 시스템에 구면 또는 비 구면보다 상대적으로 얇은 두께를 갖는 평면 광학계인 멀티레벨 렌즈에 대한 관심이 높아지고 있다.

이러한 멀티레벨 렌즈를 제작하기 위하여 photo-lithography, electron beam lithography, 레이저 가공 및 미세 가공 분야에서 초소형의 프레넬 렌즈 및 멀티 레벨 렌즈 제작을 실현 해 왔다.[1-4] 특히 photo-lithography에서는 마스크의 alignment와 gray-scale을 이용하여 멀티레벨 렌즈를 제작하는 방법이 활발히 연구 되어 왔다.[5],[6]

본 연구에서는 멀티레벨 렌즈의 금형을 제작하기 위해 전자빔 리소그래피와 FAB 플라즈마 에칭을 사용 하였다. 전자빔의 장점은 매우 작은 분해능과 마스크를 요구하지 않는 특성으로 인해 초정밀 멀티레벨 렌즈 제작을 가능케 한다. 또한 FAB플라즈마 에칭에서는 전자빔의 감광제와 실리콘이 1:1의 선택 비를 갖게 되어 정밀한 에칭을 할 수 있다.[7]

본 연구에서 제안한 전자 빔의 독립 노광 방식은 감광제 표면을 멀티레벨 렌즈의 모양으로 리소그래피한 후 FAB 플라즈마 에칭을 하는 것이다. 이러한 전자 빔의 독립 노광과 FAB 플라즈마 에칭을 이용하여 멀티레벨 렌즈 제작할 경우 수차례 반복되는 공정을 한 번의 전자 빔 리소그래피와 에칭을 이용하여 제작할 수 있게 한다. 즉, 본 논문에서는 기존의 멀티레벨 렌즈 제작 공정을 단순화를 이루며 초소형 초정밀 가공 방법을 제안한다.

2. 멀티레벨 렌즈 설계

그림 1은 프레넬 렌즈와 멀티레벨 렌즈에 대해 보여 주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 프레넬 렌즈 zone의 반경 R_j 는 식(1)을 이용하여 구할 수 있다.[8]

$$R_j = \sqrt{2j\lambda f + (j\lambda)^2} \quad (1)$$

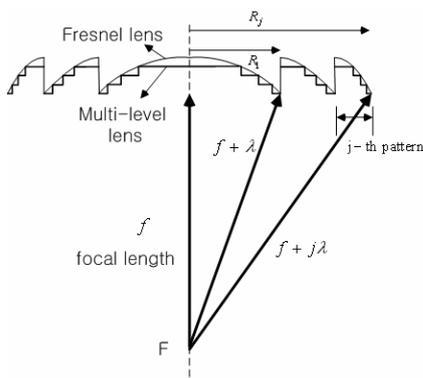


Fig. 1 Fresnel lens and Multi-level lens

$$R_{j,1} = \sqrt{2\left(j - \frac{3}{4}\right)\lambda f + \left(\left(j - \frac{3}{4}\right)\lambda\right)^2} \quad (2)$$

$$R_{j,2} = \sqrt{2\left(j - \frac{2}{4}\right)\lambda f + \left(\left(j - \frac{2}{4}\right)\lambda\right)^2}$$

$$R_{j,3} = \sqrt{2\left(j - \frac{1}{4}\right)\lambda f + \left(\left(j - \frac{1}{4}\right)\lambda\right)^2}$$

$$R_{j,4} = R_j = \sqrt{2j\lambda f + (j\lambda)^2}$$

$$d = \frac{(N-1)\lambda}{N(n_{lens} - 1)}$$

where f : focal length, λ : wave length of light

n : refractive index, N : the number of level

프레넬 렌즈의 반경인 식 (1)을 이용하여 멀티레벨 렌즈의 각각 레벨에 대한 주기 식을 구할 수 있으며, 또한 빛의 중첩의 원리를 이용하여 렌즈 두께 식을 구할 수 있다.

여기서 광원의 파장 480nm, 초점거리 714.5 μ m, 굴절률 1.4981 그리고 렌즈 지름 127.4 μ m을 이용하여 계산한 결과 최대 폭 26.204 μ m, 최소 폭 0.966 μ m, 그리고 두께 0.723 μ m를 갖는 렌즈를 설계 하였다.

3. 전자 빔의 노광과 현상되는 감광제의 관계

논문에서 제시한 방식의 가장 큰 장점은 전자 빔을 이용한 한 번의 리소그래피와 에칭을 통하여 초소형 멀티레벨 렌즈를 제작하는 것이다. 전자빔 독립 노광 방식으로 멀티레벨 렌즈 제작을 실현하기 위해서는 먼저 전자빔의 양에 따라 현상되는 감광제 두께의 관계를 알아야만 한다.[9] 이와 같은 실험을 위해 그림 2와 같이 패턴 폭이 10 μ m과 80 μ m을 갖는 두 개의 패턴으로 실험하였다. 전자빔은 30 μ C/cm²부터 100 μ C/cm²까지 바꾸어 가며 실험 하였으며 각각의 전자 빔 양에 대해 현상되는 감광제의 두께를 측정 한 결과는 그림 3과 같다.

그림 3은 전자빔의 양이 커질수록 더 많은 감광제가 현상되는 것을 말해 주고 있으며, 또한 같은 양임에도 불구하고 패턴의 크기에 따라 현상되는 감광제의 두께가 비례한다는 것을 말해 준다. 즉, 원하는 감광제의 두께를 얻기 위해서는 단순히 전자빔의 양만을 고려하는 것이 아니라 패턴의 크기도 고려해야 하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 원인은 전자빔이 기관에서 scattering되는 현상 즉 proximity effect로 설명할 수 있다.[7]

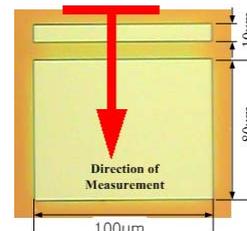


Fig. 2 Pattern for the experiment of relationship between the E-beam dose and the developed resist thickness

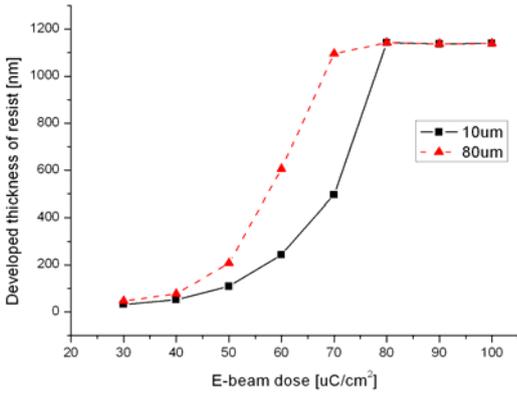


Fig. 3 Result of relationship between the E-beam dose and the developed resist thickness

4. 멀티레벨 렌즈 제작

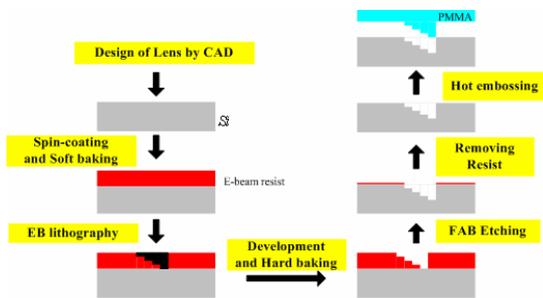


Fig. 4 Fabrication procedure of 4-level lens

그림 4는 전자빔 양과 현상되는 감광제 두께의 관계를 이용하여 전자빔 독립 노광의 방법으로 멀티레벨 렌즈를 제작하는 공정 순서를 보여 주고 있다. 전자빔 리소그래피에서 감광제의 표면을 4-level 렌즈와 같은 형상으로 공정 한 후 에칭을 하므로 위에서 언급한 바와 같이 한 번의 전자빔 리소그래피와 에칭으로 멀티레벨 렌즈를 제작 할 수 있는 것을 보여주고 있다.

5. 결과 및 고찰

전자빔의 독립 노광을 이용하여 파장 480nm에 대해 $714.5\mu\text{m}$ 의 초점거리를 갖는 4-level 렌즈 가공을 실현 하였다. 그림 5는 제작된 4-level 렌즈의 물드를 보여 주고 있으며 표 1은 가공 후 데이터를 보여주고 있다.

제작된 렌즈를 FE-SEM으로 확대하여 보면 그림 5의 우측과 같이 렌즈 평면이 평평하지 못하고 거친 면을 얻게 되는 것을 볼 수 있다. 이 원인 또한 방사된 전자빔이 기판인 Si에 부딪치면서 backscattering이 발생이 되어 random하게 감광제에 영향을 주는 것으로 판단되고 있다. 본 실험에서 사용한 감광제는 전자빔에 고 민감도(high sensitivity)의 성능을 가지고 있는 ZEP-520A를 사용하였다. 따라서 전자빔에 덜 민감한 저 민감도(low sensitivity)의 감광제 선택이 이 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 제작된 렌즈의 성능을 평가하기 위하여 MTF(Modulation Transfer Function)를 측정 하였다. 그림 6(a)와 같이 $31.6\mu\text{m}$ 의 폭과 $50\mu\text{m}$ 주기를 갖는 물체 면을 이용하여 얻은 이미지의 그림은 그림 6(b)와 같다.

이와 같은 데이터를 이용하여 20line/mm에 대한 MTF를 측정한 결과 렌즈 중심에서 53.6%의 값을 얻을 수 있었다.

Table 1 Comparison of pattern size

	Design	Measurement
maximum width	$26.204\mu\text{m}$	$27.206\mu\text{m}$
minimum width	$0.966\mu\text{m}$	$0.939\mu\text{m}$

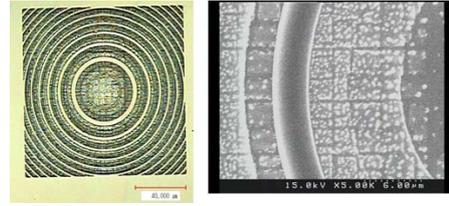
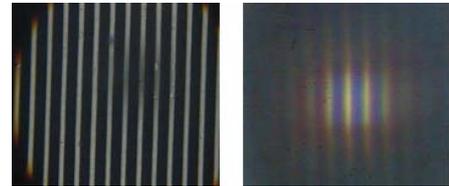


Fig. 5 4-level lens fabricated by independent-exposure in electron beam lithography and FAB plasma etching



(a) Object (b) Image
Fig. 6 Image test for MTF

6. 결론

본 논문에서 소개한 멀티레벨 렌즈 제작 방법은 전자 빔의 독립 노광 방식으로써 리소그래피 공정에서 감광제를 멀티레벨 렌즈 모양으로 형성한 후 감광제와 기판인 Si과 1:1 에칭의 특성을 갖는 FAB 플라즈마 에칭을 이용하여 멀티레벨 렌즈를 제작한 것이다. 기존의 멀티레벨 렌즈 제작 방법은 리소그래피와 에칭 공정을 수차례 반복하지만 본 논문에서 제시된 방법으로 리소그래피와 에칭을 한 번의 공정으로 멀티레벨 렌즈 가공이 가능하고 더욱 정밀하고 세밀한 멀티레벨 렌즈를 얻을 수 있었다.

실험을 통하여 전자빔과 현상되는 감광제의 두께는 비례하고, 같은 전자 빔의 양에서 패턴의 크기와 현상되는 감광제의 두께도 비례하는 것을 알게 되었으며 그 원인은 proximity effect인 것을 알게 되었다. 결과적으로 본 논문에서 제시한 전자 빔 독립 노광 방식은 proximity effect의 강한 영향을 받는 것을 알게 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 low sensitivity 감광제를 선택하여 현상되는 감광제의 두께 조절이 더 용의 하게하고, back-scattering의 영향을 감소시킴으로써 더 매끈한 현상면을 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

1. T. Shiono, K. Setsune, O. Yamazaki, K. Wasa, "Rectangular-apertured micro-Fresnel lens array fabricated by electron-beam lithography", appl. Opt. Vol 26, pp587-591(1987)
2. H. Hagino, C. S. Park, H. Kikuta, K. Iwata, "Multilevel computer generated hologram on a curved surface for high power CO₂ laser beam shaping, Proc. 11th ICPE, pp281-284(2006)
3. L. Kong, X. Yi, K. Lian, S. Chen, "Design and optical performance research of multi-phase diffractive microlens array", J. Micromech. Microeng. 14(2004), pp 1135-1139
4. J. Yan, K. Maekawa, J. Tamaki, T. Kuriyagawa, "Micro grooving on single-crystal germanium for infrared Fresnel lenses", J. Micromech. Microeng. 15(2005), pp.1925-1931
5. H. P. Herzig, "Micro-optics elements, system and application" Taylor & Francis(1997), pp61-62
6. B. Morgan, C. M. Waits, J. Krizmanic, R. Ghodssi, "Development of a deep silicon phase fresnel lens using gray-scale lithography and deep reactive ion etching" J. MEMS vol. 13(2004), pp113-120
7. Marc J. Madou, "Fundamentals of microfabrication", CRC Press, pp. 53-54
8. J. Turunen, F. Wyrowski, "Diffractive Optics for Industrial Applications", Akademie Verlag(1997), pp.82-83
9. Y. Hirai, H. Kikuta, M. Okano, T. Yotsuya, K. Yamamoto, "Automatic dose optimization system for resist cross-sectional profile in a electron beam lithography", Jpn. J. appl. Phys. Vol. 39 (2000), pp 6831-6835