

레이저 직접 묘화법을 위한 포커싱 오차 신호 검출 및 광학적 오프셋 보상 방법

Focusing Error Signal Detection and Optical Offset Calibration for Laser Direct Writing

*[#]임형준¹, 김기홍¹, 최기봉¹, 이재종¹, 이성휘¹, 안현진¹, 류지형²

*[#]H. J. Lim(hjlim@kimmre.kr)¹, G. H. Kim¹, K. B. Kim¹, J. J. Lee¹, S. H. Lee¹, H. J. Ahn¹, J. H. Ryu²

¹한국기계연구원 나노융합기계연구본부, ²과학기술연합대학원대학교 나노메카트로닉스학과

Key words : Laser direct writing, Patterning, Focusing error, Offset calibration

1. 서론

리소그래피 기술은 크게 두 가지로 나뉜다. 마스크 혹은 스탬프 등을 이용하여 이를 복제하는 것에 기반을 둔 방법과, 이러한 수단 없이 직접 패터닝 하는 방법이다. 전자의 경우 포토마스크(photomask)를 이용하는 포토리소그래피(photolithography) 또는 스탬프(stamp)를 이용하는 나노임프린트 리소그래피(nanoimprint lithography) 등이 있다. 후자의 경우에는 전자빔 리소그래피(electron beam lithography), 이온빔 리소그래피(focused-ion beam lithography), 간섭리소그래피(interference lithography), 레이저 직접 묘화법 (laser direct writing) 등이 있다.

본 논문은 레이저 직접 묘화법에 관해 기술하고자 한다. 레이저 직접 묘화법의 경우 광원의 파장과 대물렌즈의 개구수(numerical aperture, NA)에 의해 제작 가능한 최소 패턴의 크기가 결정되며, 단일 빔스팟(beam spot)에 의한 패터닝이 이루어짐으로 인한 공정 시간 증가 등 근본적으로 해결해야 할 문제점들이 여전히 존재한다. 그러나, 별도의 마스크가 필요 없이 다품종 소량 생산이 가능하며, 비교적 저렴한 가격으로 시스템을 구성할 수 있는 가능성이 있는 장점이 있다. 물론, 이는 다루고자 하는 광원의 파장에 따라 다르다.

동일한 파장의 광원을 사용하는 경우에도 빔스팟의 크기를 줄이려면, 집광하고자 하는 대물렌즈의 개구수를 증가시켜야 하는데, 이에 따라 초점심도(depth

of focus, DOF)가 개구수의 제곱에 반비례하여 줄어들게 되므로 물리적인 실체가 없는 빔스팟을 정확히 기판의 표면에 위치시키는 것이 어렵게 된다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 포커싱오차(focus error, FE)를 검출하는 방법 및 실험적인 측정 과정을 통해 포커싱오차의 오프셋(offset)을 보상하는 방법을 소개하고자 한다.

2. 광학 시스템

그림 1 은 레이저 직접 묘화 시스템을 위한 광학 구성도를 보여준다. 광원으로부터 출발한 레이저 빔은 빔스플리터와 사분파장판(quarter wave plate)을 통과한 후 대물렌즈에 의해 기판의 상면에 집광되며, 기판으로부터 반사된 빔은 다시 대물렌즈, 사분파장판, 빔스플리터, 이미징렌즈를 통과한 후 검출기에 도달한다.

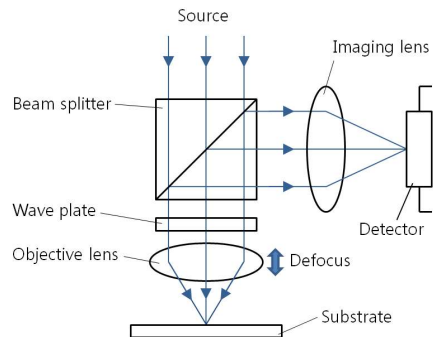


Fig. 1 Schematic diagram of optical layout for the laser direct writing system.

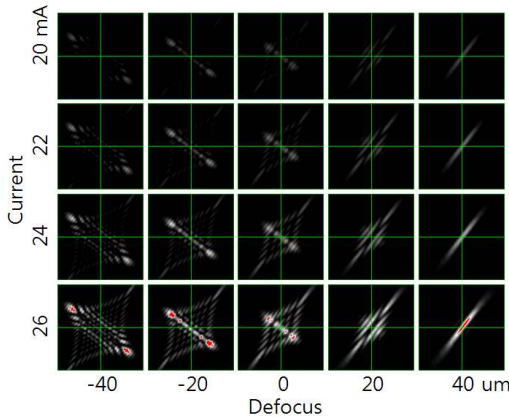


Fig. 2 Detector images as variations of the defocus of the objective lens and the operation current of the source.

패터닝이 이루어지지 않은 기관의 표면은 경면과 같으므로 광학현미경 또는 사진기 등에 응용이 되는 대비검출방식(contrast detection algorithm)을 사용하기 어렵다. 따라서, 반사빔의 광학적 성질을 이용하는 것이 바람직하며, 본 논문에서는 광픽업(optical pickup) 등에 사용되는 비점수차법(astigmatic method)을 이용한다. 그림 2 는 대물렌즈의 높이방향 이동, 즉 디포커스(defocus) 변화에 따른 영상변화를 보여준다. 이때 수직축은 광원에 인가되는 전류값의 변화, 즉 광원의 광량 변화를 나타낸다.

3. 초점오차 보정

앞장에서 얻어진 검출소자의 이미지를 4 분할하여 대각선 방향으로 차이값을 구하면 그림 3 과 같은 초점오차(focus error) 신호를 얻을 수 있다. 그림에서 보듯 여러 조건의 광량에 대해 얻어지는 그래프를 이용함으로써 중심 위치를 예측할 수 있다. 본 논문을 위하여 구성된 광학시스템의 경우 대물렌즈의 초점이 맞는 중심위치, 즉 디포커스 오프셋은 약 $-10 \mu\text{m}$ 이며 이때 초점오차 신호값은 -15 가 됨을 알 수 있다. 따라서, 이러한 값을 보상하는 형태로 광학계의 수광부를 재정렬하며, 초점오차값은 측정된 값에 15 를 더함으로써 해결이 가능하다.

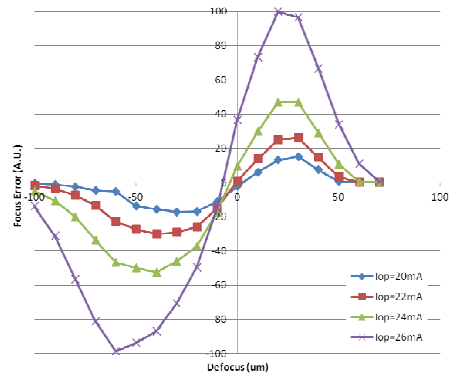


Fig. 3 Focus error signal as a function of the operational current of the source

4. 결론

본 논문에서는 레이저 직접 묘화 방법을 위한 포커싱 오차 검출 방법 중 비점수차법에 있어서 광학계의 정렬 후 발생하는 디포커스 오프셋을 실험적으로 측정하고 보상하는 방법을 제안하였다. 광원의 과장이 작아지고 개구수가 증가함에 따라 초점심도도 함께 작아지므로 이러한 방법들을 이용하여 수광계를 정렬함으로써 향후 시스템을 이용한 리소그래피 공정을 원활히 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

후기

본 논문은 지식경제부의 기술혁신사업의 일환인 산업원천기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다. (과제번호: 10040225)

참고문헌

1. Becker, R. A., Sopori, B. L., and Chang, W. S. C., "Focused laser lithographic system," *Applied Optics*, **17**, 1069-1071, 1978.
2. Park, S.-H., Yang, D.-Y., and Lee, K.-S., "Two-photon stereolithography for realizing ultraprecise three-dimensional nano/microdevices," *Laser & Photon. Rev.*, **3**, 1-11, 2009.
3. Thiel, M., Rill, M. S., Freymann, G. V., and Wegener, M., "Three-Dimensional Bi-chiral Photonic Crystals," *Adv. Mater.*, **21**, 4680-4682, 2009.