

펄토초 레이저와 공간 광 변조기 시스템을 이용한 이광자 흡수 미세구조 제작

Nanofabrication using two-photon absorption by femtosecond laser and spatial light modulator system

정병제, 이신욱, 전병구, 공홍진, 양동열, 이광섭*
한국과학기술원, 한남대학교*
blake-j@kaist.ac.kr

기존의 100나노미터 이하의 분해능을 갖는 미세구조 제작 시스템은 비선형 광학 현상의 하나인 이광자 흡수 현상을 이용하였다. 이러한 시스템은 펄스폭이 약 100 펄토초가 되는 Ti:Sapphire 레이저와 이광자 흡수 현상이 효과적으로 일어날 수 있는 물질을 사용하였다. 이 시스템을 이용하여 복셀(voxel)이라 불리는 3차원 화소를 기본으로, 이것의 집합체인 2차원 형태의 패턴과 3차원의 구조물을 만드는 것이 가능하였다⁽¹⁾. 이 때 복셀의 크기가 100나노미터 이하로 매우 작기 때문에 우수한 정밀도를 갖는 미세구조를 제작할 수 있었다.

복셀은 이광자 흡수 현상이 일어나는 물질 안에서 레이저의 초점이 맺히는 곳에서만 제작되므로 레이저의 초점을 이동시킴으로써 원하는 형태의 미세구조물을 자유롭게 만들 수 있다는 것이 기존 시스템의 가장 큰 장점이다. 그러나 3차원 구조물의 경우 레이저 초점의 이동거리가 상당히 길기 때문에 크기가 매우 큰 구조물일 경우 제작에 수시간이 걸리게 되어, 제작 속도 측면에서 단점을 가지고 있었다⁽²⁾. 이러한 단점을 극복하기 위해 만들어진 새로운 시스템은 기존의 시스템과 마찬가지로 펄토초 레이저를 사용하며, 공간 광 변조기(spatial light modulator)를 이용하여 제작 속도를 혁신적으로 줄이고자 하였다. 공간 광 변조기는 마이크로디스플레이 기술을 이용하여 원하는 형태의 2차원 패턴을 홀로그램으로 바꾸어 실리콘 기반의 작은 액정패널에 나타내 준다. 이 패널에 펄토초 레이저를 쏘아 주고 이것이 다시 대물렌즈에 의해 초점화 되면 초점 부근에서 원래 디자인의 2차원 패턴이 재생된다⁽³⁻⁴⁾. 이러한 재생된 패턴의 빛의 세기가 이광자 흡수가 일어나기 위한 임계값을 넘게 되면 폴리머 중합반응이 나타나고 재생된 패턴 형태로 미세구조가 제작된다. 이러한 방식의 미세구조 제작은 기존의 시스템에서처럼 복셀의 순차적인 제작에 의한 것이 아니라 홀로그램 재생을 이용하여 판화를 찍어 내듯이 한 번에 제작되는 것이므로 제작 속도를 혁신적으로 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 아래의 전자현미경 사진은 새로운 시스템을 이용하여 시험적으로 제작해 본 미세구조 패턴이다. 왼쪽은 복셀의 박스형태 배열을 제작한 것이고 오른쪽은 화살표 형태의 패턴을 제작한 것이다.

현재의 시스템을 이용해 제작한 미세구조 패턴은 균일하게 제작되지 못하고 정밀도 측면에서 다소 떨어진다⁽⁵⁾. 현재의 시스템을 보완하여 2차원 미세구조 패턴의 균일하고 정밀한 제작이 우선적인 단기 연구 과제이며, 2차원 패턴의 연속적인 제작 및 적층을 통해 장기적으로는 3차원 구조물 제작이 가능할 것이라는 점에서 새로운 시스템을 이용한 미세구조 제작은 중요성을 갖는다.

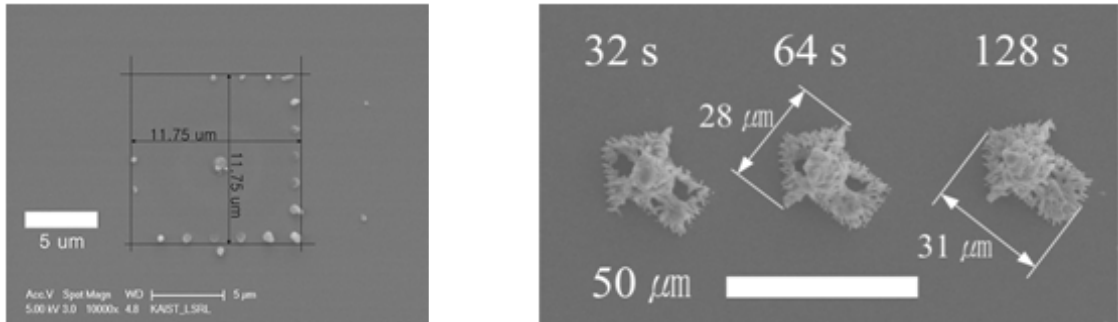


그림 1. 펨토초 레이저와 공간 광 변조기 시스템을 이용하여 제작한 미세구조 패턴

1. J. Serbin, A. Egbert, A. Ostendorf, and B. N. Chichkov, "Femtosecond laser-induced two-photon polymerization of inorganic-organic hybrid materials for applications in photonics", *Optics Letters*, 28, 5, (2003).
2. S. Kawata, H.-B. Sun, T. Tanaka, K. Takada, "Finer features for functional microdevices", *Nature*, 412, 697 (2001).
3. Marek Kereš, Ivan Richter, and Pavel Fiala, "Iterative Fourier transform algorithm: different approaches to diffractive optical element design" *SPIE Vol. 4770* (2002).
4. T.G. Walker, "'Holography without photography,'" *Am. Jour. of Phys.* Vol. 67, No. 4, pp. 783-785 (1999).
5. H.-B. Sun, K. Takada, M.-S. Kim, K.S. Lee, S. Kawata, "Scaling laws of voxels in two-photon photopolymerization nanofabrication", *Applied Physics Letters*, 83, 6 (2003).