

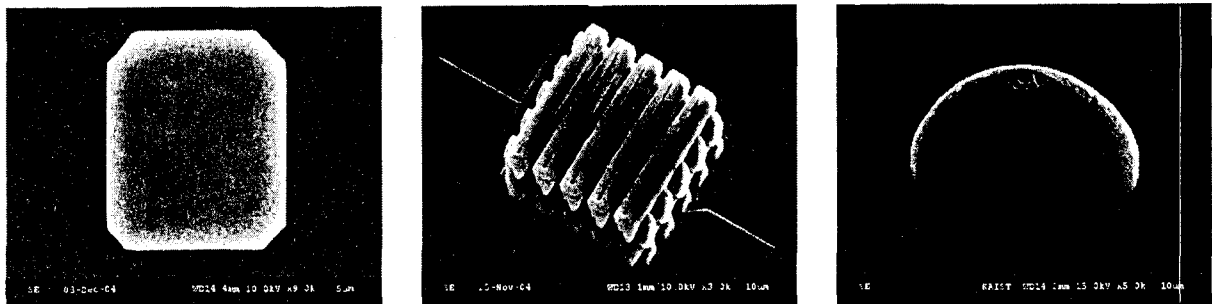
이광자 흡수를 이용한 3차원 구조물에서의 제작 후 구조 변화 연구

Distortion of Structure in Two-Photon Absorbed Photopolymerizing Three Dimensional Fabrication

이신욱*, 조미정*, 이성구*, 공홍진*, 양동열**, 박상후**, 임태우**, 김란희***, 이광섭***
*한국과학기술원 물리학과, **한국과학기술원 기계공학과, ***한남대학교 고분자공학과
vexgriff@kaist.ac.kr

비선형 광학 현상의 하나인 이광자 흡수는 특정 주파수의 광자를 흡수하는 원자나 분자에 대해 동시에 각기 흡수 광자의 주파수의 반에 해당하는 주파수를 갖는 두 개의 광자가 흡수될 때 그 원자나 분자가 여기되는 현상을 말한다. 이러한 현상은 두 개의 광자가 동시에 흡수될 확률이 높은 매우 높은 광자 밀도를 갖는 빛에서 일어나게 된다. 근래에 극초단 레이저의 개발로 인해 매우 높은 광자 밀도를 요구하는 이광자 흡수 현상을 쉽게 재현할 수 있다⁽¹⁾. 이러한 현상을 폴리머의 광중합등에 응용함에 있어서 나노기술로서 커다란 두가지 장점을 갖는다. 첫 번째는 이광자 현상 자체가 매우 낮은 흡수 단면적을 갖고 있고, 또 이 현상이 일어날 문턱세기 또한 상대적으로 높기 때문에 조사되는 빛의 방향과 크기를 잘 조절하면 회절한계에 전혀 제한되지 않는 작은 크기를 만들 수 있다. 또 다른 장점은, 이광자 흡수를 일어나게 하는 빛의 파장 그 자체는 동시에 광자가 흡수되지 않는 한 이 현상이 일어나지 않으므로, 초점으로 모아지는 빛의 진행방향에 대해서 원하는 부분을 초점에 일치시켰을 때 오직 광자 밀도가 높은 초점 근방에서만 이광자 흡수 광중합반응을 일으킬 수 있다.

위에서 언급한 장점등을 응용하면, 삼차원적인 입체 미세 구조물을 기존의 리소그래피 기술에 비해서 쉽게 제작할 수 있다. 삼차원 구조물을 만들기 위해 매우 복잡한 중간과정을 거쳐야 하는 기존의 리소그래피 기술에 비해서 이 이광자흡수 제작기술의 제작과정은 매우 단순하다. 또 오목하거나 속이 빈 3차원 구조물을 만들기 위해 특별히 제작 과정을 고려해야할 필요 역시 없다. 이러한 방법은 다양한 3차원 나노머신을 제작 가능하게 한다. 또한, 광중합이 되는 폴리머가 가시영역에 대해서 굴절률이 1.5정도 되기 때문에 마이크로렌즈, 그레이팅, 마이크로 컴퓨터 재생 홀로그램, 3차원 광결정등 다양한 미세광학 소자를 제작할 수 있다. 또한, 위의 두가지 응용사례를 접합함으로써 미세 광학전자기계기술(MOEMS:MicroOptoElectronicMechanicalSystem)에 대한 응용의 가능성도 있다⁽²⁾.



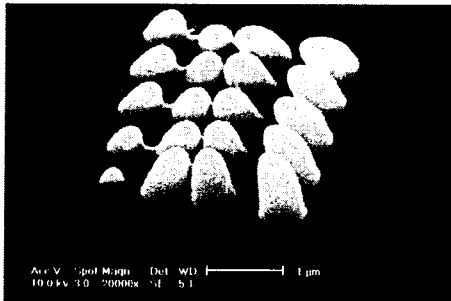
(a)

(b)

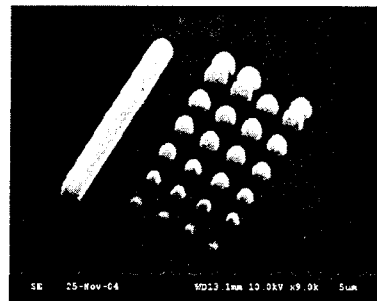
(c)

그림1. 이광자 흡수를 이용한 구조물(a)2차원 평면(b)통나무 쌓기(c)렌즈 모양

이에 본 연구진은 이 기술을 이용하여 간단한 1차원 구조에서부터 3차원 구조물 까지 제작을 해왔고, 제작에서 생기는 문제 또한 해결하면서 진행하였다⁽³⁾⁽⁴⁾. 이광자 흡수를 이용한 3차원 구조물을 제작하면서 구조물 제작 과정에서 실험 조건에 따라 고려되어야 할 현상들이 있다. 가령, 이광자 흡수 구조물의 가장 기본 단위인 복셀을 제작할 때, 초점으로 모아지는 빛의 광학적인 특성에 따라 복셀의 모양이 영향을 받는다. 또, 물질이 폴리머이기 때문에 광학적인 현상외의 현상들도 나타나는데, 가령 직사각 기둥을 만들 때, 어떠한 요인에 의해서 밀면적에 비해서 윗면적이 작아지는 현상도 나타난다. 이러한 예기치 않는 현상들은 이광자흡수를 통한 3차원 구조물 제작에 큰 영향을 미치는 현상들로 반드시 연구되어야 하는 사항들이다.



(a) 작은 빔직경으로 입사했을 때



(b) 큰 빔직경으로 입사했을 때

그림2. 실험장치의 광학설정에 따른 복셀의 형태

위에서 언급한 기본 구조물인 복셀은 3차원적으로 지정한 어느 지점에서 일정시간 빛을 노출시켜 그 초점에서 발생된 폴리머 구조물로서, 복셀 형성에 대한 광학적인 영향을 기하광학적인 방법과 파동광학적인 방법을 응용해서 분석하였다. 또, 3차원 구조물의 내부구조에 따라 제작완료시 형태가 결정되는지에 대해서도 분석하였다.

참고문헌

1. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics*, John Wiley & Sons, Singapore (1984)
2. S. Kawata, H.B. Sun, T. Tanaka, K. Takada, "Finer features for functional microdevices," *Nature*, 412, 697-698, (2001).
3. S.H. Park, T.W. Lim, D.Y. Yang, S.W. Yi, H.J. Kong, "Direct Fabrication of Micro-Patterns and Three-dimensional Structures using Nano Replication Printing (nRP) Process," *J. Sens Mater.*, accepted, (2004).
- 4 S. W. Yi, S. Lee, H. kong, D. Yang, S. Park, T. Lim, R. H. Kim, K-S. Lee, "Three-Dimensional Micro-Fabrication using Two-Photon Absorption by Femtosecond Laser", Proc. SPIE, 5342, 137-145 (2004)