

바이오포토닉스응용을 위한 MEMS 미세광학소자의 개발

MEMS Technology for Biophotonic Applications

정기훈, 한국과학기술원 바이오및뇌공학과
kjeong@kaist.ac.kr

Biophotonics is an emerging area in a fusion of biology and photonics, especially in advanced bioimaging, optical biosensors, photomodulation, and biochip optical read-out, and optical manipulation. This emerging area also creates many opportunities for interdisciplinary study of biology and photonics. Micro-Electro-Mechanical-System(MEMS) is an attractive technology in miniaturizing sensors and actuators. For last decade, it has contributed to the development for active and passive small and integrated optical components in optical communication. Recently, this technology is also merging into biology for high sensitive biosensing and high resolution and fast bioimaging in small form factor. In this talk, some key advantages of small optical components and recent biophotonic MEMS achievement will be discussed for miniaturized advanced biophotonic systems.

바이오포토닉스는 생물학과 포토닉스의 융합학문으로 특히, 최근 바이오이미징기술, 광바이오센서, 광조절 및 바이오칩의 광학센서시스템 및 광학집계 개발등에 큰 관심을 받고 있고 다양한 융합연구를 창출하고 있다. 미세기전시스템(MEMS: Microelectromechanical system)은 센서나 구동기를 초소형화 하기 위해 매우 유용한 기술로서 지난 10여년간 광통신분야에서 미세광학소자 및 집적광통신 반도체소자개발에 응용되어왔다. 최근 이러한 MEMS 기술을 이용하여 고감도 바이오센서나 고분해능, 실시간 바이오이미징시스템을 초소형화 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 바이오포토닉스 응용을 위한 광학소자의 초소형화 기술의 장점과 응용가능분야에 관해 소개하고자 한다.

본 연구에서 광학소자의 소형화시 확보할 수 있는 대표적인 세가지 장점을 가질 수 있다.

첫째, 대표적인 광학소자로서 렌즈의 구경이 작을수록 수차를 최소화 할 수 있다. 물론, 소형 구형을 갖는 렌즈의 경우 회절한계(diffraction limit)로 인해 이미징센서의 위에 분해할 수 있는 유효픽셀의 숫자가 작아지므로 고분해능을 획득하는데 한계가 존재한다. 그러나, 렌즈의 크기가 작아짐에 따라 광경로차(optical path)로 인한 수차를 줄일 수 있는 장점이 존재하므로 복합렌즈시스템을 요구하지 않는다. 본 연구에서 고분해능과 저광학수차를 확보하기 위해 광주사방식기반 전면부 내시경이미징에 응용될수 있는 MEMS 렌즈스캐너(MEMS Lens scanner)와 고분해능 광시야각 내시경이미징을 위한 미세렌즈기반 광각렌즈로 사용될수 있다[1,2].

둘째, 렌즈는 물론, 핀홀, 거울등의 광학소자에 동적구동특성을 향상시킬 수 있다. 광학소자 자체의 질량을 소형화함에 따라 동적구동시 관성(inertia)을 최소화 할 수 있다. 초소형렌즈의 경우 액체렌즈를 사용한 구동방식이 소개되었는데, 렌즈 내 주입된 고굴절율을 갖는 광유체를 유압으로 조절함에 따라 광대역 초점거리 조절이 가능하다. 본 액체 렌즈의 경우 수십 나노리터의 체적을 갖기 때문에 수십 Hz로 구동이 가능하고, 볼록 또는 오목렌즈의 변형을 통해 내시경내 줌렌즈로서의 사용이 가능하다[3,4]. 또한,

저질량의 거울을 이용한 수십 kHz 이상의 광주사(optical scanning) 방식기반 실시간 바이오이미징시스템의 구현이 가능하다. 초고속구동이 가능한 핀홀을 이용한 광학필터와 고속회전이 가능한 회절판과 단일점 포토다이오드를 이용한 바이오분광시스템의 적용이 가능하다[5].

셋째, 미세렌즈위에 복잡한 미세/극미세 패턴을 결합시켜 복잡형상렌즈의 제작이 가능하고, LED광원의 방출각을 제어하기가 용이하다. 최근 근적외선을 이용한 생체광조절(biophotomodulation)관련 연구가 활발히 진행되고 있는데 이러한 복잡형상렌즈의 경우 다양한 비균일성패턴을 단일렌즈 표면에 적용시킴으로써 광원의 효율적 조절이 가능하다[6].

본 연구에서 소개된 장점 및 바이오포토닉스 응용 외에 현재 미세광전자기계시스템(Optical MEMS)기술은 현재 다양한 바이오포토닉스 분야에서 고감도, 고분해능, 실시간 3차원 이미징 및 센싱을 위한 차세대 바이오공학을 위한 중심역할을 할 것으로 기대된다.

[참고문헌]

1. K. Jeong, J. Kim, and L.P. Lee, Biologically Inspired Artificial compound eyes, Science, vol. 321, pp.557-561, 2006.04
2. J. Kim*, K. Jeong *, and L. P. Lee, Artificial ommatidium by microlens-induced self-writing of waveguide, Optics Letter, vol.30, no.1, pp.5-7, 2005. * Equal contribution on this publication.
3. K. Jeong, G. L. Liu, N. Chronis, and L. P. Lee, Tunable microdoublet lens array, Opt. Express 12, pp.2494-2500, 2004.
4. N. Chronis, K. Jeong, G. L. Liu, and L. P. Lee, Tunable Liquid Microlens Array Integrated on Microfluidic Network, Optics Express, vol. 11, no.19, pp.2370-2378, 2003.
5. K. Jeong, and L. P. Lee, A Novel Microfabrication of A Self-Aligned Vertical Comb Drive On A Single SOI Wafer For Optical MEMS Applications, J. Micromechanics and Microengineering, vol. 15, pp 277-281, 2005.
6. S. Chae, H. Jung, and K. Jeong, Micropatterned Complex Optical Surface for Wide Angle Illumination, IEEE Optical MEMS 2008