

Smart Scalable System을 위한 광미세유체리소그라피와 레일형

미세유체기술

OFML and Railed Microfluidics for Smart Scalable Systems

정수은, 박옥, 박현성, 신성환, 이승아, 권성훈*

*서울대학교 전기컴퓨터공학부

skwon@snu.ac.kr

구조물의 크기가 작아짐에 따라 일반적인 top-down 방식의 나노 구조물 형성의 한계를 극복하기 위해 다양한 bottom-up 방식의 나노 구조물 형성방법이 널리 연구되어 왔다^[1,2]. 리소그라피를 기반으로 하는 top-down 방식과 자기조립을 기반으로 하는 bottom-up 방식의 조합은 해상도와 처리량을 모두 향상시키는 새로운 패터닝 방법이다. 본 논문에서는 이러한 top-down 접근 방식과 bottom-up 접근 방식을 적절히 조합시켜 시스템 단위에서의 통합을 보여주며, 이 방식을 'Smart Scalable System'이라고 칭한다. 한번에 복잡한 시스템을 형성하는 대신, 먼저, sub-unit을 저렴하고 확실한 대량생산 방법으로 각각 제작을 한다 (smart particle generation). 이후, 생산된 sub-unit들을 복잡한 시스템을 구성하도록 조립한다 (smart scalable assembly). 첫 번째 단계인 smart particle generation으로 광미세유체 리소그라피 (optofluidic maskless lithography (OFML))와 두 번째 단계인 smart scalable assembly로 레일형 미세유체기술 (railed microfluidics)를 소개한다.

먼저, sub-unit 생산 단계인 smart particle generation으로서의 OFML은 미세유체 채널 안에 흐르는 자외선 경화성 레진을 고속 이차원 공간광변환기를 이용하여 선택적으로 free-floating 중합체 구조물을 생성시키는 시스템이다^[3]. 프로그램이 가능한 광학 투사와 미세유체 장치를 조합시켜, 광중합성 구조물 생성의 시간 및 위치를 모두 제어할 수 있다 (그림 1(a)). 따라서, 다양한 모양, 크기, 순서 또는 물질을 가지는 미세구조물의 실시간 형성이 가능하다 (그림 1(b)-(d)). 또한, 광패턴이 노출되는 영역보다 큰 크기를 가지는 긴 중합체 형성 또한 소개되었다 (그림 1(e)-(f)). 한번 미세유체관 내부에 다양한 모양 및 물질로 이루어진 구조물들이 형성된 이후 이를 유체에 의해 큰 시스템으로 조립할 수 있다.

이어서, 영역 확장 가능한 조립 기술인 smart scalable assembly로서의 railed microfluidics를 소개한다. 이는 유체 채널 안에서 미세구조물들을 가이드하고 조립하는 방법이다^[4]. 편평한 일반 미세유체 채널의 천정에 홈('레일')을 추가로 만들어서 이 홈에 들어맞는 fin을 가지는 미세구조물을 OFML로 생성한다. 이 fin에 의해 미세구조물들은 유체 채널안에서 가이드 시킬 수 있다 (그림 2(a)-(b)). 레일에 의한 미세구조물의 가이드 방법을 이용하여 단 하나의 구조물도 버리지 않고 복잡한 미세시스템을 조립할 수 있다. 본 논문에서 50개 보다 더 많은 양의 미세구조물들을 유체에 의해 오차 없이 복잡한 시스템을 조립한 내용도 소개된다 (그림 2(f)). 또한, 레일에서 미세구조물을 가이드시켜서 서로 다른 물질의 큰 표면 장력을 통과시켜 솔루션을 바꾸는 방법과 미세유체관 내 laminar flow 특성을 이용하여 heterogeneous fluidic self assembly를 구현하였다 (그림 2(g)-(h)). 이러한 railed microfluidics의 여러 가지 기술을 이용하여 단순히 중합체 뿐만이 아니라, 다른 물질도 가이드와 조립이 가능하다. 살아있는 서로 다른 세포의 조립과 100마이크로미터 크기의 실리콘 칩들의 가이드 및 조립도 railed microfluidics의 간단한 응용분야로서 소개하였다 (그림 2(i)-(j)).

OFML과 레일형 미세유체관은 smart scalable system과 다양한 광유체학 응용분야의 매우 유용한 기술이 될 것이다.

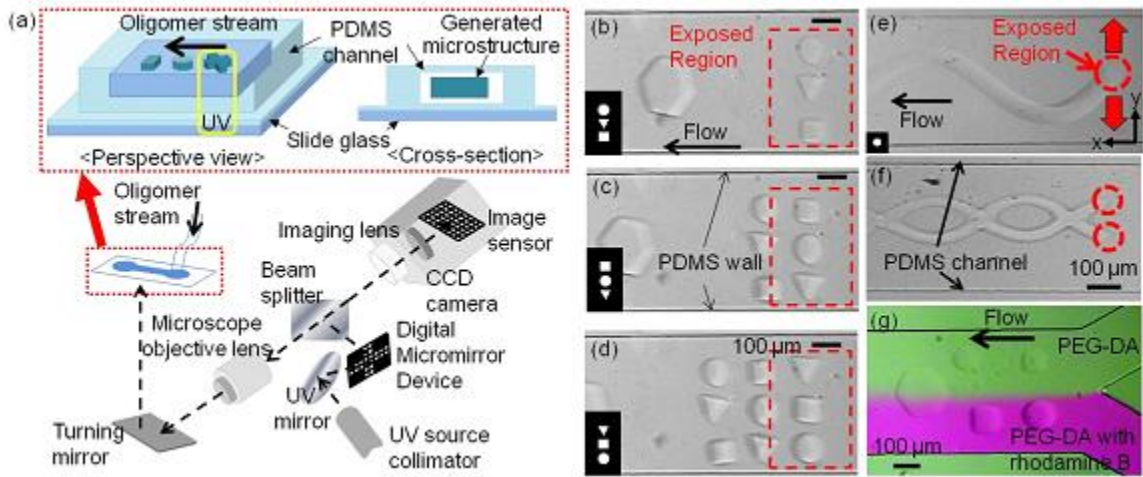


그림 1. 광미세유체 기술 (Optofluidic maskless lithography (OFML))^[3] (a) 미세유체관 내 광중합 반응의 역학적 제어를 위한 OFML 시스템의 구조도 (b)–(d) 프로그램 가능한 SLM을 이용한 역학적 광중합 과정에 의한 시간 및 공간제어 (e) 노출 패턴을 위아래로 움직임에 따라 사인파형으로 형성된 폴리머 와이어 (f) 두 개의 UV 노출패턴을 움직임으로써 오버랩되어 생긴 폴리머 와이어 (g) 다양한 물질로 이루어진 구조물 생성

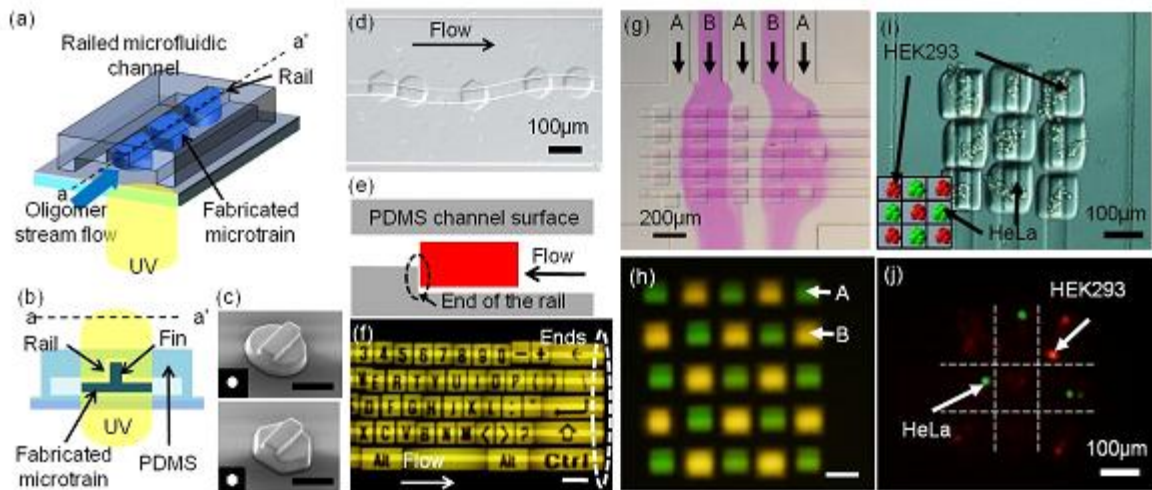


그림 2. 레일형 미세유체 기술 (Railed microfluidics)을 이용한 자기조립^[4] (a) 레일형 미세유체관의 개념도 (b) 단면도 (c) SEM 이미지 (d) 사인파형 레일을 따라 가이드 되는 미세구조물 (e) 자기조립 사이트로 이용되는 레일의 끝 (f) 자기조립된 복잡한 미세구조 시스템 (g)–(h) 이중자기조립 (i)–(j) 레일 미세유체관 내에서 두가지 다른 살아있는 세포 조립을 보여준 응용 예

1. C. R. K. Marrian and D. M. Tennant, "Nanofabrication," J. Vac. Sci. Technol., 21 (5), S207 (2003).
2. J. A. Liddle, Y. Cui, and P. Alivisatos, "Lithographically directed self-assembly of nanostructures," J. Vac. Sci. Technol, 22 (6), 3409 (2004).
3. 정수은, 박욱, 박현성, 유경식, 박남규, 권성훈, "Optofluidic maskless lithography system for real-time synthesis of photopolymerized microstructures in microfluidic channels," Applied Physics Letters, 91 (4), 041106 (2007).
4. 정수은, 박욱, 신성환, 이승아, 권성훈, "Guided and fluidic self assembly of microstructures using railed microfluidic channels," Nature Materials, Advance Online Publication, 15 June 2008 (DOI: 10.1038/nmat2208)

This work was partly supported by "System IC 2010" project of Ministry of Knowledge Economy and Seoul R&BD Korea.