

집광 특성이 전기적으로 조절 가능한 액정 마이크로 렌즈 어레이

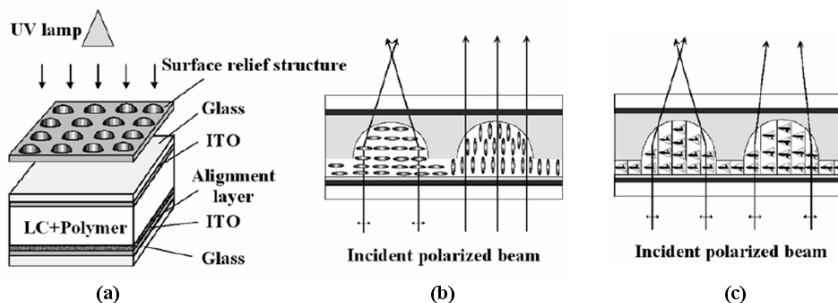
Electrically Controllable Focusing Properties in Liquid Crystal Microlens Array

김학린, 이광호, 이유진, 김재훈
 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학부
jhoon@hanyang.ac.kr

마이크로 렌즈 어레이는 광통신 소자, 3차원 디스플레이, 대용량 광정보 기록 매체 등 다양한 응용 분야를 가지는 핵심 광소자 중의 하나이다. 최근 들어서는 액정의 전기 광학 특성을 이용하여 초점 거리 및 집광 효율 등을 전기적으로 조절할 수 있는 액정 마이크로 렌즈 어레이가 개발되어 수동형 렌즈 소자를 이용한 기존의 광시스템의 성능을 획기적으로 개선해줄 수 있을 것으로 많은 기대를 모으고 있다.^(1,2) 액정 마이크로 렌즈의 경우, 패터닝 전극 구조나 기판 표면에 형성된 굴곡 구조를 이용하여 액정층 내에 굴절률 분포를 조절함으로써 집광 특성을 조절한다. 하지만, 기존의 방법들의 경우 전기장 분포나 표면 배향 조건에서 전 전압 영역에서 안정된 배향 특성을 얻기 어려우므로 집광 특성이 떨어진다는 단점이 있었다. 이에 본 연구에서는 패터닝 UV 조사를 통한 액정/고분자 복합계의 3차원적 비등방 상분리 현상⁽³⁾을 이용하여 전 구동 전압영역에서 안정된 배향 특성을 가지고서 집광 특성을 조절 가능한 액정 마이크로 렌즈 어레이를 제안하였다.

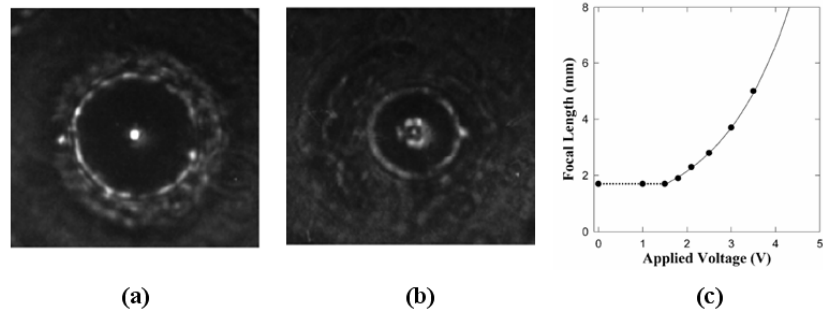
그림 1은 각각 3차원 비등방 상분리를 이용하여 액정 마이크로 렌즈 어레이를 제작하는 방법과 이를 이용하여 제작된 네마틱 액정 마이크로 렌즈 어레이 및 강유전성 액정 마이크로 렌즈 어레이의 구조도이다. 액정/고분자 혼합계에 조사된 UV 에너지에 따라 상분리된 고분자 박막의 두께는 결정되며 형성된 고분자 박막의 굴절률 및 두께 분포 그리고 전압에 따른 액정층에서의 굴절률 분포 및 변화에 따라 집광 특성은 결정된다. 그림 1 (b)와 (c)에서 액정의 초기 배향은 하판에 형성된 배향막에 의하여 동일하게 결정되나 전압 인가가 배향에 미치는 영향은 각기 다르게 나타나 네마틱 액정의 경우에는 액정 분자들이 전기장 방향으로 재정렬되는 반면, 강유전성 액정의 경우에는 일정한 원추각을 중심으로 회전하여 재정렬된다.

그림 2에서 볼 수 있듯이 네마틱 액정 마이크로 렌즈의 경우, 오목 렌즈를 형성하고 있는 고분자 박막 구조



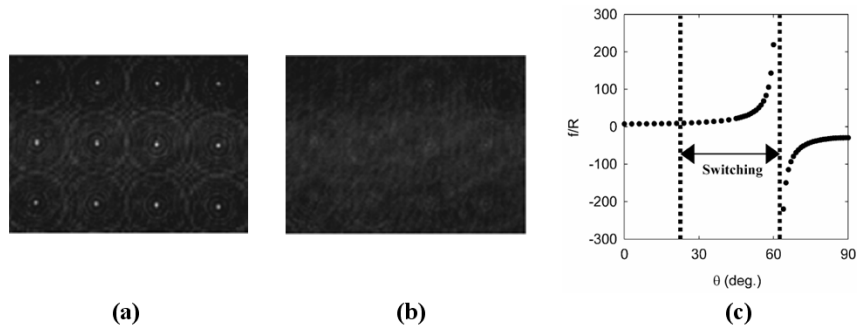
[그림 1] 액정 마이크로 렌즈 어레이 모식도 : (a) 액정/고분자 복합계의 비등방 상분리 유도를 통한 액정 마이크로 렌즈 어레이 제작도, (b) 네마틱 액정 및 (c) 강유전성 액정을 이용한 마이크로 렌즈 어레이의 전압 인가에 따른 초점 거리 변화.

와 볼록 렌즈를 형성하고 있는 액정층간의 위상 정합 조건이 액정층에 인가된 전압에 따라 바뀌므로 초점 거리를 연속적으로 가변할 수 있었다. $n_e > n_o \approx n_p$ 인 굴절률 조건하에서 제작된 시편은 전압이 인가되지 않은 경우 볼록 렌즈로서 기능하여 인가된 전압이 증가함에 따라 집광 특성은 점차 사라지게 된다. (단, n_e, n_o , 그리고 n_p 는 각각 액정의 이상/상 굴절률, 그리고 고분자의 굴절률임.)



[그림 2] 네마틱 액정 마이크로 렌즈에서의 전압에 따른 초점 변화 : (a) 0 V가 인가되어 초점이 맺힌 경우와 (b) 3 V가 인가되어 초점이 흐려진 경우. (c) 인가된 전압 크기에 따른 초점 거리 변화.

반면, 강유전성 액정을 이용한 액정 마이크로 렌즈의 경우 강유전성 액정의 전기 광학 특성을 이용하여 이중 안정성을 가지고서 집광 특성을 조절할 수 있는 메모리형 소자를 구현할 수 있었다. 강유전성 액정에 전압이 인가된 경우 입력 광원의 편광축에 대하여 액정의 광축이 회전하므로 집광 특성이 전기적으로 조절된다. 그림 3의 결과에서 볼 수 있듯이 비등방적 상분리 현상을 이용하여 제작된 시편은 강유전성 액정을 사용한 경우에서도 전 구동 전압 영역에서 안정된 액정의 배향과 그에 따른 향상된 집광 특성을 보였다.



[그림 3] 강유전성 액정 마이크로 렌즈 어레이의 전압에 따른 초점 변화 : (a) 10 V가 인가되어 초점이 맺힌 경우와 (b) -10 V가 인가되어 초점이 흐려진 경우. (c) 강유전 액정의 경사각에 따른 초점 거리 특성에 대한 simulation 결과.

References

1. T. Nose and S. Sato, Liq. Cryst. **2**, 1425 (1989).
2. M. Fritze, M. Stern, and P. Wyatt, Opt. Lett. **23**, 141 (1998).
3. Vorflusev and S. Kumar, Science, **283**, 1903 (1999).