

## 미세 가공 기술로 제작된 위상 및 방향 변조용 공간 빛 변조기

## A micromachined spatial light modulator for phase and amplitude modulation

정석환, 김용권  
 서울대학교 전기공학부  
 swchung@snu.ac.kr

최근 Micro-Opto-Electro-Mechanical(MOEMS)기술의 발달과 더불어 적응 광학(Adaptive optics)분야나 패턴 인식 분야에 적용 가능한 공간 빛 변조기의 개발이 이루어지고 있다. 적응 광학용 공간 빛 변조기는 대기의 turbulence에 의하여 왜곡된 빛의 위상을 파면 센서(wave sensor)와 실시간 제어를 통해 보정하는 역할을 한다. 적응 광학 분야에서 상업적으로 사용되던 기존의 공간 빛 변조기는 전액 소자 배열(piezoelectric actuator array)에 의하여 지지되는 평면 거울을 사용하여 크기가 크고 전력 소비도 심하며 무엇보다도 가격이 비싸다는 단점이 있었다<sup>(1)</sup>. 그러나 MOEMS 기술의 적용으로 인해 공간 빛 변조기의 크기 및 무게 그리고 소비 전력이 줄어들었으며 반도체 공정을 통한 대량 생산으로 저가로 생산할 수 있게 되었다.

적응 광학용 공간 빛 변조기는 다음의 네 가지 요구 조건을 만족시켜야 하는데 첫째는 높은 광 효율을 가져야한다. 둘째는 미러를 움직이게 하는 구동기간의 커플링이 없어야 한다. 셋째로 대기의 turbulence에 의해서 연속적으로 왜곡된 위상을 보정하기 위해서는 미러면의 변형된 프로파일이 연속적이어야 한다. 이를 위해 가장 적합한 구조는 membrane mirror이며 segmented mirror array인 경우는 빛의 위상 및 방향을 동시에 변조할 수 있도록 미러면이 상하 및 회전 운동을 할 수 있어야 한다. 넷째로 광범위한 영역의 파장 대의 빛을 보정하기 위해서는 미러면의 변형량이 커야한다. 표 1은 현재까지 연구된 적응 광학용 공간 빛 변조기의 장·단점을 나타낸다. 하지만 지금까지 연구된 MOEMS를 이용한 공간 빛 변조기들은 표 1과 같이 아직 까지 위의 네 가지 조건을 모두 만족시키지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 위에서 언급한 네 가지 요구 조건을 최대한으로 만족하도록 공간 빛 변조기를 설계하고 제작하였다.

공간 빛 변조기의 설계 및 해석을 바탕으로 구조재로 알루미늄을 사용하고 희생층으로 후막 감광제(AZ4620)를 사용하는 표면 미세 가공 기술(surface micromachining technology)을 이용하여 표 2와 같은 사양을 가진 10×10 이차원 공간 빛 변조기 배열을 제작하였다. 후막 희생층을 사용함으로써 기존의 다결정 실리콘을 이용한 공정에 비해 변위량이 큰 공간 빛 변조기를 제작할 수 있었다. 그림 1은 제작된 공간 빛 변조기 배열의 전자현미경 사진이다. 제작된 공간 빛 변조기는 약 92.6%의 비교적 높은 광학적 개구율을 보였다. 또한 레이저와 위치 검출 소자를 사용한 광학 측정 장치를 이용하여 위상 및 방향 변조시의 인가 전압 대 변위 및 주파수 응답 특성, 그리고 방향 변조시의 계단 응답 특성을 측정하였고 공간 빛 변조기의 설계 사양의 만족 여부를 확인하였다. 또한 서두에서 제시한 네 가지 요구 조건 중 위상 변화의 연속성을 확인하기 위하여 공간 빛 변조기를 개별적으로 구동하는 실험을 통해 미러의 변형된 프로파일의 연속성을 확인하였으며 미러면의 백색광 간섭무늬 관찰을 통해 공간 빛 변조기의 입

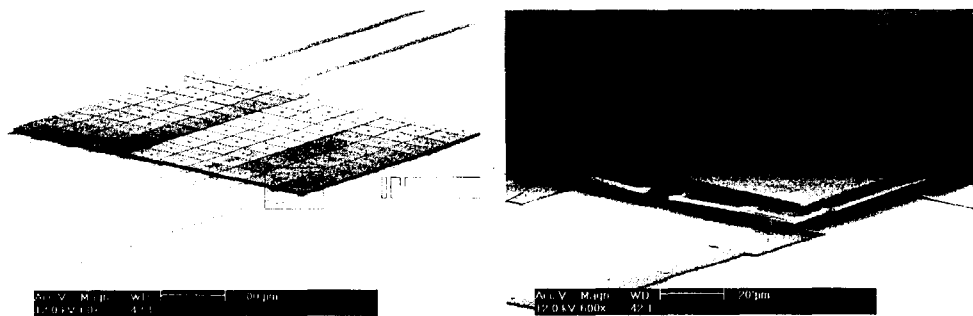
사된 백색광 파장의 1/4 위상 변조시 입사된 백색광의 위상 반전 여부를 확인하였다. 하지만 아직까지 곡률 없이 편평한 미러면이 제작되지 않아 이에 대한 연구가 필요하다.

표 1. 적응 광학용 공간 빛 변조기들의 장·단점

Researcher	Characteristics	Merit	Demerit	Ref.
G. Vdovin et al	-Bulk micromachining technology -Continuous membrane deformable mirror -Phase modulation	-High optical efficiency -No diffraction -Continuous phase variation	-Mechanical coupling -Complex control algorithm	2
T. G. Bifano et al	-Surface micromachining technology -Segmented deformable mirror -Phase modulation -Polysilicon mirror	-No mechanical coupling	-Continuous phase variation is impossible -Diffraction	3
V. M. Bright et al	-Surface micromachining technology -Segmented deformable mirror -Phase modulation -Using hartmann type lens	-High optical efficiency -No diffraction	-Continuous phase variation is impossible	4
M. A. Michalick et al	-Surface micromachining technology -Segmented deformable mirror -Phase and amplitude modulation -Three polysilicon layer	-No mechanical coupling -No diffraction	-Diffraction	5
M. C. Wu et al	-Surface micromachining technology -Segmented deformable mirror -Phase and amplitude modulation -MUMPS, SDA	-Large displacement	-Diffraction -Mechanical coupling	6

표 2. 설계된 광 변조기의 사양

조각 변형 거울의 개수	100개(10×10 이차원 배열)
조각 변형 거울의 최대 수직 변위	4μm(제어가능 최대 수직 변위: 2μm)
조각 변형 거울의 최대 각 변위	±4.6° (제어가능 최대 각 변위: ±2°)
개방 루프 대역폭	>10kHz
전체 유효 거울 면적	≈1mm <sup>2</sup>
광학적 개구율(optical fill-factor)	93.7%



(a) 제작된 10×10 공간 빛 변조기 배열

(b) 공간 빛 변조기의 확대 사진

그림 1. 제작된 공간 빛 변조기 배열의 전자현미경 사진

[참고 문헌]

1. J. E. Pearson et al., "Experiment studies of a deformable-mirror adaptive optical system", *Journal of Optical Society of America*, Vol. 67, No. 3, pp.325-333, (1977)
2. G. Vdovin et al., "Technology and application of micromachined adaptive optics", *Journal of Micromech. Microeng.*, Vol. 9, R8-R20, (1999)
3. R. K. Mali et al., "Development of microelectromechanical deformable mirrors for phase modulation of light", *Opt. Eng.*, Vol. 36, No. 2, pp.542-548, (1997)
4. W. D. Cowan et al., "Surface micromachined segmented mirrors for adaptive optics", *IEEE J. of Selected Topic in Quantum Electronics*, Vol. 5, No. 1, pp.90-101, (1999)
5. M. A. Michalick et al., "Design and simulation of advanced surface micromachined micromirror devices for telescope adaptive optics applications", *Proc. SPIE*, Vol 3353, pp.805-815, (1998)
6. G. J. Su et al., "Surface-micromachined adaptive micromirror arrays with large strokes", *Tech Digest of Transducers '99*, pp.578-581, (1999)