

대칭구동기를 갖는 가변 광 감쇄기의 제작

김태엽* **, 허재성*, 문성욱*, 신현준*, 이상렬**
 * 한국과학기술연구원 마이크로시스템연구센터 ** 연세대학교 전기전자공학과

VOA fabrication with symmetric actuator

Tae-Youp Kim* **, Jae-Sung Hur*, Sung Moon*, Hyun-Joon Shin*, and Sang-Yeol Lee**
 * Microsystem Research Center, KIST ** Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei

Abstract - This paper presents a variable optical attenuator (VOA) that is fabricated using bosch deep silicon etching process [1] with silicon-on-insulator (SOI) wafer. The VOA consists of driving electrode, ground electrode, actuating mirror, and mechanical stopper. In this VOA, actuating mirror is driven by electrostatic force [2] and the pull-in voltage is close to 13V, 28 V, 46V come along with the spring width of 3 μ m, 5 μ m, 7 μ m respectively.

Key words : VOA, SOI

1. 서 론

가변광 감쇄기(variable optical attenuator, VOA)는 광통신 시스템 구축에 있어 없어서는 안 될 핵심 부품이다. 특히 통신 수요의 급격한 증가로 인해 하나의 선로에 여러 개의 파장채널을 동시에 이용하는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 시스템 [3]의 개발이 이루어졌고, 이러한 시스템에서는 하나의 선로에 여러 개의 통신용 채널이 동시에 사용되게 되므로, 채널 사이의 신호 세기에 큰 차이가 발생할 경우 통신망의 운영이 제대로 이루어지지 않을 수 있다. 따라서 채널간 신호 세기의 조정이 필수적으로 요구되어지며, 가변 광 감쇄기는 이러한 신호 세기를 조정하는 광통신 시스템의 핵심 부품이다. 본 논문은 기존의 광 감쇄기 제작시 문제가 되었던 습식 식각으로 인한 고착 문제를 해결하기 위해 전 공정을 건식 식각하였고, 상하 대칭구동기를 통해 미러의 변위를 줄임으로써 낮은 구동 전압으로 구동할 수 있는 광 감쇄기의 제작에 관한 것이다.

2. 본 론

2. 1 광 감쇄기 제작

본 논문에서 제안된 광 감쇄기를 제작하기 위해 실리콘 기판이 200 μ m이고, Device 층 실리콘이 80 μ m이며 1 μ m의 절연층을 갖는 SOI 웨이퍼를 사용해 제작하였다. 그림 1. 은 광 감쇄기의 제작 공정도로, 우선 실리콘 표면의 자연 산화막을 제거하기 위해 불산에서 약 10s 간 식각시켰고, device 층 실리콘의 마스크 패턴을 위해 positive photoresist인 AZ-7220으로 패터닝했다. 패터닝시 photoresist를 double coating하여 식각시 photoresist가 식각 마스크 역할을 충분히 수행할 수 있도록 3.5 μ m두께로 패터닝했다. device 층 실리콘을 DRIE로 식각하기 전에 마스크 패턴이 수직으로 잘 마스크 되었는지 현미경 및 SEM으로 관찰하였고, 수직 마스크 패턴이 형성 됨을 확인했다. Device 층 실리콘 식각 시 광 감쇄기의 미러 부분의 거칠기가 매우 중요하므로 식각시 챔버내의 압력 및 반응 개수양과 인가 코일 및 전극과위를 실험을 통해 보정하였으며 가장 최적화된 공정조건은 표 1. 과 같았다.

표 1. Device 층 DRIE 공정조건

Parameter	
SF6 Flow	130 sccm
C4F8 Flow	100 sccm
O2	13 sccm
Etch time	6 s
Passivate time	7 s
APC	15 mtorr
RF coil power	600 W
Platen power	12 W
Chiller temp	25 $^{\circ}$ C

Device 층 실리콘 식각 후 실리콘 기판 및 dicing line을 동시에 positive photoresist인 AZ-9260으로 6 μ m두께로 패터닝 한 후 DRIE로 식각 하여 기계적인 스트레스를 최소화 하였다. 그림 2는 절연층을 RIE로 건식 식각하여 완성된 광 감쇄기의 SEM사진이다. 그림 3. 은 구동기의 안정적인 구동 및 고착을 최소화 시키기 위해 각 구동기마다 2개의 반원 형태의 mechanical stopper를 두었으며 back reflection 손실을 최소화시키기 위해 8도 기울어진 미러로 제작하였다

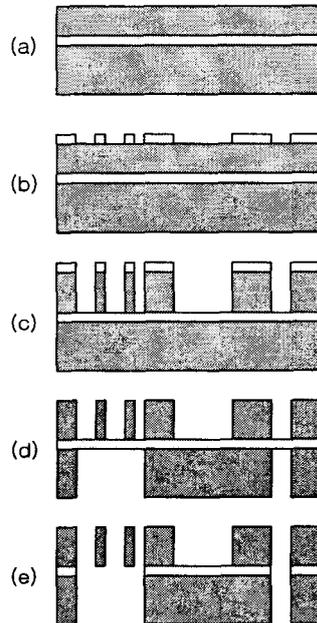
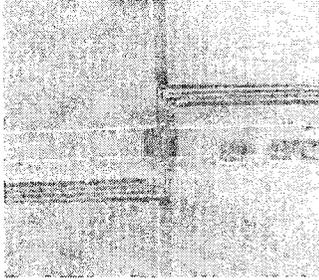
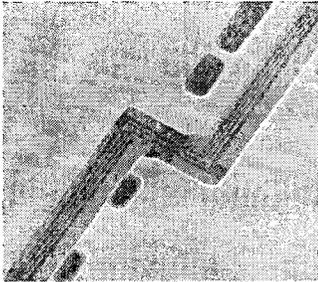


그림 1. 광 감쇄기 공정도

(a) a SOI wafer (b) PR 마스크 패터닝 (c) a silicon DRIE (d) 실리콘 기판 DRIE (e) 절연층 식각



(a) 윗면 광 감쇄기 사진

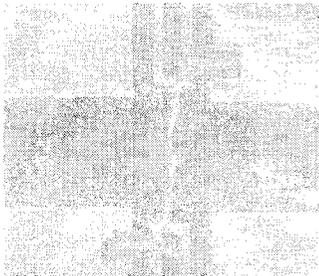


(b) 뒷면 광 감쇄기 사진

그림 2. DRIE에 의해 제작된 광 감쇄기의 SEM 사진



(a) 1st mechanical stopper



(b) 2nd mechanical stopper

그림 3. Mechanical stopper SEM 사진

2. 2 Simulation and results

제작된 광 감쇄기의 pull-in 전압을 측정하기 위하여 MEMS 전용 simulator인 CoventorWare의 CoSolve 알고리즘을 이용했다. 그림 4는 1st, 2nd의 mechanical stopper에 닿았을 때의 pull-in 전압과 미러 변위 간의 시뮬레이션 결과이다. [4]

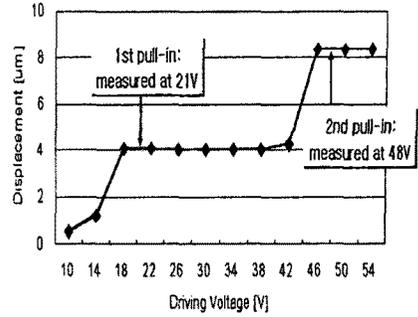


그림 4. Actuation analysis : e.g 스프링두께 = 5μm

그림 5는 제작된 광 감쇄기에 Voltage source를 인가하여 나온 결과로 스프링 3μm, 5μm, 7μm 두께에 따른 pull-in 전압이며 simulation 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

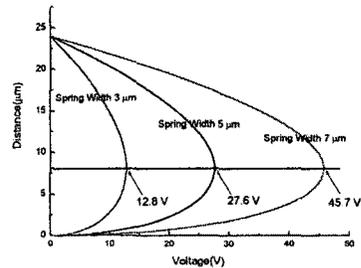


그림 5. pull-in 전압에 따른 미러 변위 곡선

5. 결 론

쉽게 제작할 수 있고 낮은 구동전압으로 구동하는 가변 광 감쇄기를 제작하기 위해 DRIE의 bosch process를 이용해 제작하였다. 또한 광 감쇄기 제작 시 문제가 되던 습식 식각에 의한 고착을 제거하기 위해 전 공정을 건식 식각하였고, 미러 구동시 구동전압을 최소화시키기 위해 두 개의 구동기가 각각 8μm의 변위를 갖는 구조로 제작하였다. 이는 한 개의 구동기로 16μm의 변위를 갖는 광 감쇄기에 비해 단지 34%의 인가전압이 필요함을 수치적으로 계산 할 수 있었다. 3μm, 5μm, 7μm의 스프링 두께에 따른 안정적인 동작 전압은 13V, 28V, 46V로 수치 해석적인 결과와 실험적인 결과가 거의 일치했다.

[참고 문헌]

- [1] M. Chabloz, Y. Sakai, T. Matsuura, K. Tsutsumi, "Improvement of sidewall roughness in deep silicon etching", *Microsystem Technologies* 6, p86, (2000)
- [2] John Fons Nin, Angel Rodriguez, Luis M Castaner, "Voltage and Pull Time in Current Drive of Electrostatic Actuators", *Journal of microelectromechanical system*, VOL.11, NO.3, JUNE 2002
- [3] L. Y. Lin, E. L. Goldstein, and R. W. Tkach, "Free Space Micromachined Optical Switches for Optical Networking", *IEEE journal of selected topics in quantum electronics*, VOL. 5, NO. 1, JANUARY/FEBRUARY 1999
- [4] C. Marxer, p.Griss, and N. F. de Rooij, "A Variable Optical Attenuator Based on Silicon Micromechanics," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 11, no. 2, Feb. 1999