

평행 평판 정전형 구동기를 이용한 가변 광 감쇠기

Variable Optical Attenuator using Parallel Plate Electrostatic Actuator

김태엽^{1,2}, 허재성¹, 문성욱^{1,a}, 신현준¹, 이상렬²

(Tae-Youp Kim^{1,2}, Jae-Sung Hur¹, Sung Moon^{1,a}, Hyun-Joon Shin¹, and Sang-Yeol Lee²)

Abstract

The micromachined variable optical attenuator(VOA) was presented in the paper. The VOA has two single mode fiber(SMF) aligned with free space and symmetric parallel plate actuator with microshutter, which can control a amount of light by driving the actuator. In the paper, analysis on driving performances of the VOA was performed and can be reduced threshold voltage through the decreasing displacement actuating range. This paper presents a VOA that is fabricated using bosch deep silicon etching process with silicon on insulator(SOI) wafer. The VOA consists of driving electrode, ground electrode, actuating microshutter, and mechanical stopper. In this VOA, actuating shutter is driven by electrostatic force and the threshold voltage is close to 28V, 46V come along with the spring width of 5 μ m, 7 μ m respectively. Attenuation range is measured from 2.4dB to 16.7dB.

Key Words : Variable optical attenuator, Parallel plate actuator, Electrostatic force

1. 서론

광통신용 광 감쇠기는 입사단과 출사단을 가지며 입사광에 소정의 광 손실을 주고 감쇠된 광 파워를 출사하는 기능의 광 부품이다[1,2]. 전송거리의 장단에 의한 광섬유의 전송 손실의 차이, 광섬유 접속부의 수, 전송로에 사용되는 광 분기 결합 등의 광 부품 수와 성능에 따라 차이가 있으며, 광 신호의 수신광량 수준은 광통신 시스템에 따라 다르나 광수신부의 광량 수준이 과다할 경우 광수신부의 포화상태를 일으킬 수 있으므로 이를 조절하기 위해 사용된다. 광 감쇠기의 요구 조건으로는 주어진 파장 대역에서 사용 가능해야 하고, 입사단으로 재반사 되어 되돌아오는 광량이 적어야 하며, 한번 조절된 광량은 시간의 변화나 파장 및 편광의 변화, 진동 및 외부 충격 등에 따라 발생하는

변동을 최소화하는 것이 중요하다. 이러한 광 감쇠기는 구동 방식에 따라 여러 가지가 있으나 MEMS형 가변 광 감쇠기는 미세 자유 공간을 지나는 빛의 감쇠가 가능하도록 미세 구조체를 이용한 광 감쇠기로서 다른 방식에 비해 제품크기, 가격, 광학적 성능에서 장점을 가지며 DWDM(dense wavelength division multiplexing) 광통신에 적합하도록 집적화 및 다채널화가 용이하다[3-5].

2. 본론

가변 광 감쇠기의 핵심 기술은 저전압으로 재현성있게 동작하는 선형운동기(actuator)와 광 신호의 되반사가 최소가 되며 손실이 적은 가변 광 차단막 제작 기술이라고 할 수 있다[6].

2.1 평행 평판 정전형 구동기의 동작 원리 및 특징

평행 평판 정전형 구동기의 동작원리는 전압차가 존재하는 전극 사이에 저장된 에너지의 이동 방향에 대한 미분값으로 이는 식 1과 같다[7].

1. KIST 마이크로시스템 연구센터
(서울시 성북구 하월곡동 39-1)
2. 연세대학교 전기전자공학과
a. Corresponding Author : s.moon@kist.re.kr
접수일자 : 2003. 10. 16
1차 심사 : 2003. 12. 18
심사완료 : 2004. 1. 2

$$F_x = \frac{dW}{dx} = \frac{1}{2} \frac{dC}{dx} V^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon S}{(d-x)^2} V^2 \quad (1)$$

여기서, W = 위치에너지,
 S = 평판 면적
 V = 인가 전압,
 ϵ = 유전율
 $d-x$ = 전극 사이 거리

지금까지 유도한 구동력에 Hook's 법칙을 적용하면 다음과 같이 변위와 전압의 관계식으로 유도할 수 있다.

$$F_d = -kx \quad (2)$$

여기서, k = spring constant

$$V = \sqrt{\frac{2kx(d-x)^2}{\epsilon S}} \quad (3)$$

식 (3)에 의해, 구동전압을 스프링 빔 너비에 따라 수치해석적으로 계산해 그림 1에서 보는 바와 같이 $5\mu\text{m}$, $7\mu\text{m}$ 에서 각각 28V, 46V의 구동전압을 보였다. 이것을 검증해 보기 위해 MEMS 전용 시뮬레이터인 coventorware 의 cosolve 알고리즘을 이용하여 검증해 본 결과 그림 2와 같이 거의 일치함을 알 수 있다[8].

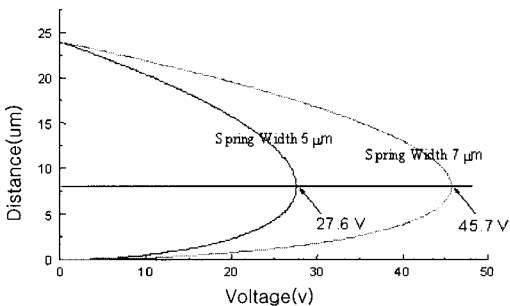
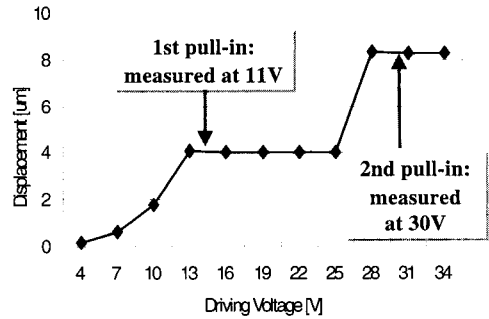
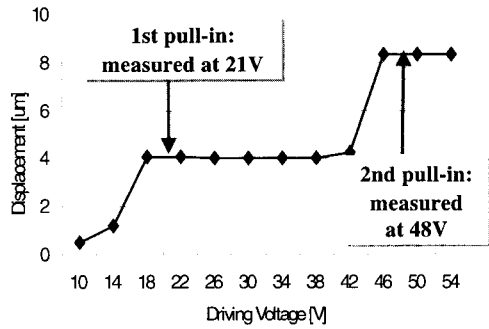


그림 1. 스프링 빔 너비에 따른 수치해석적 계산.
 Fig. 1. Analytic computation with different spring beam width.



(a)



(b)

그림 2. 스프링 빔 너비에 따른 시뮬레이션 결과.
 (a) $5\mu\text{m}$ 너비 (b) $7\mu\text{m}$ 너비

Fig. 2. Simulation results with different spring width. (a) $5\mu\text{m}$ width (b) $7\mu\text{m}$ width

2.2 가변 광 감쇠기의 설계 및 제작

현재까지 제작되었던 가변 광 감쇠기는 하나의 구동기로 입사단의 광량을 조절해야 되기 때문에 큰 변위의 구동을 필요로 한다. 따라서 하나의 구동기로 광원을 감쇠시키기 위해서는 $10\mu\text{m}$ 이상의 구동변위가 필요하며 거의 100V에 달하는 구동전압을 필요로 한다. 따라서 광 감쇠기를 설계함에 있어 구동전압을 줄일 수 있도록 구동기를 상하 대칭으로 배치 해 구동변위를 서로 보상할 수 있는 대칭형 구동기를 설계하였다. 이러한 구조의 구동기는 하나의 구동기의 구동 전압의 단지 34%의 인가전압이 필요함을 수치적으로 계산 할 수 있었다. 마스크 제작시 소자 절단 라인(dicing line)을 같이 설계함으로써 절단시에 발생하는 기계적인 스트레스를 제거해 수율을 높일 수 있었으며, 정렬 및 되 반사 손실을 최소화 할 수 있도록 서터를 8° 경사를 줌으로써 이를 해결하였다.

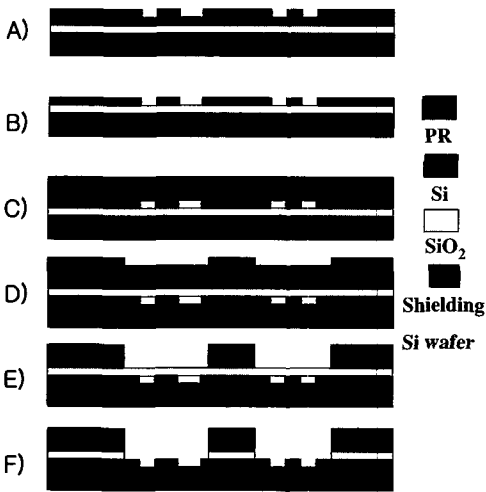


그림 3. 가변 광 감쇠기 공정 순서.
Fig. 3. Variable optical attenuator fabrication sequence.

표 1. Deep RIE 공정 조건.

Table 1. Fabrication processing condition of Deep RIE.

Parameter	Device layer etching (80um)	Bottom layer etching (200um)
SF ₆ flow	130sccm	130sccm
CF ₄ flow	100sccm	110sccm
O ₂ flow	13sccm	13sccm
Ech time	6s	11s
Passive time	7s	6s
APC	15mtor	15mtor
RF coil power	600W	800W
Plat power	12W	16W
Chiller temp	25°C	

그림 3은 가변 광 감쇠기의 제작 공정으로 SOI 웨이퍼의 상부 실리콘 부분에 Deep RIE 공정을 이용하여 가변 광 감쇠기의 모양을 만들어 준 후, 하부 실리콘 부분을 역시 Deep RIE 공정을 이용하여 가공하여 상부에 만들어준 구조물을 움직일 수 있는 공간을 만들어 주었다. 마지막으로 중간의 SiO₂ 부분을 RIE 공정을 이용하여 제거함으로써 가변 광 감쇠기를 완성한다. 건식 식각 공정인 Deep RIE 공정의 중요한 공정 파라미터는 표 1에

나와 있듯이 최적화 함으로써 수직측벽 및 고품상비 구조물을 제작할 수 있다.

그림 4는 제작된 가변 광 감쇠기의 SEM 이미지이며 대칭형 구동기 및 수직의 셔터가 제작되었음을 볼 수 있다.

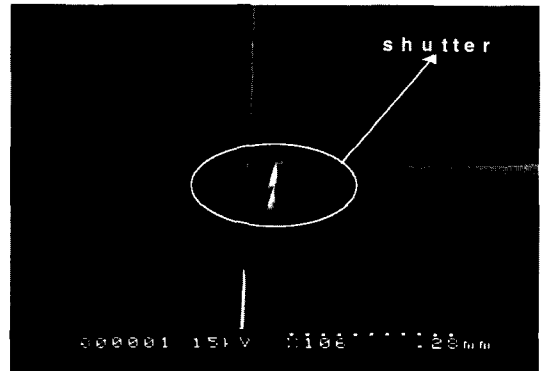


그림 4. 가변 광 감쇠기의 SEM.
Fig. 4. SEM image of variable optical attenuator.

3. 측정 및 결과고찰

제작된 가변 광 감쇠기의 구동전압을 측정하기 위해 DC전압을 1V 스텝으로 인가하여 첫 번째 stopper와 두 번째 stopper에 접촉시의 전압을 측정한 결과로 현미경을 통해 기계적인 stopper에 접촉되는 것을 확인하여 측정하였다. 측정 결과 그림 5에서 보는 바와 같이 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 거의 일치함을 보였다.

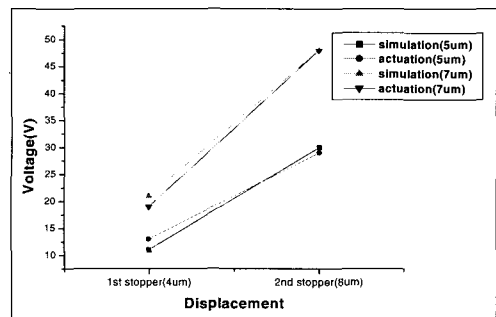


그림 5. 시뮬레이션과 측정 구동전압 비교.
Fig. 5. Comparison of Driving voltage with simulation and measurement.

다음으로 광 감쇠량을 측정하기 위해 그림 6과 같이 SMF를 입사단과 출사단에 정렬시켰다. 정확한 정렬을 위해 현미경 및 XYZ 스테이지(XYZ stage)를 이용해 미세한 정렬을 할 수 있었다. 구성된 측정 시스템을 통해 가변 광 감쇠기의 감쇠량을 측정하였다. 셔터에 반사율이 약 99 %인 Au 층을 코팅한 후 측정 된 광 감쇠량은 그림 7에서 보는바와 같이 2.4 dB에서 16.7 dB의 비교적 좋은 광 감쇠를 보였다.

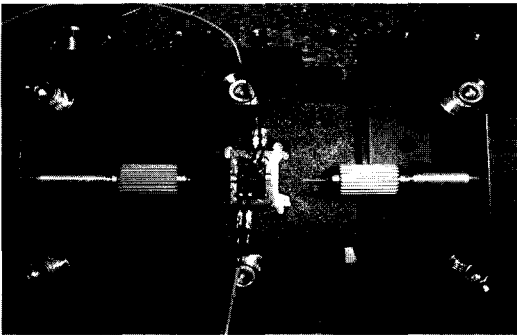


그림 6. 광 감쇠량 측정 시스템 구성.
Fig. 6. Attenuation rate measurement system composition.

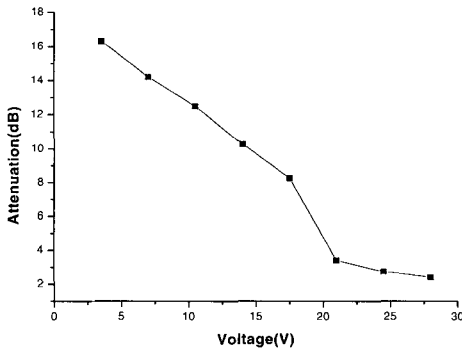


그림 7. Au 코팅 한 셔터의 광 감쇠량.
Fig. 7. Attenuation rate of shutter with Au coating.

4. 결론

본 연구에서는 정전형 구동방식에 있어 가장 크게 문제가 되는 높은 구동전압을 저 전압으로 구

동 할 수 있는 구조로 제작하기 위해 구동변위를 상하 대칭형 구동기로 보상할 수 있게 제작하였고, 그 계산 결과 34%의 문턱전압만으로 감쇠 변위를 구동시킬 수 있었다. 가변 광 감쇠기의 제작에 앞서 수치해석적인 계산과 MEMS 전용 시뮬레이터인 coventorware로 시뮬레이션 해 보았고, 그 결과 거의 일치함을 알 수 있었다. 가변 광 감쇠기의 설계는 머리 빗살형 구동기(comb actuator)에 비해 고착(stiction)이 적은 평행 평판 정전형 구동기로 제작하였고 이동전극의 이동의 축 역할을 하는 첫 번째 stopper와 안정적 동작영역에서 구동할 수 있게 하는 두 번째 stopper를 통해 안정적 구동특성을 얻을 수 있었다. 광학적 손실면에서도 미리의 각도를 8°기울여 제작함으로써 입사단으로 들어온 레이저를 전반사 시킴으로써 되 반사손실을 제거할 수 있었다. 파이버를 삽입하여 고정할 수 있는 고정부 설계는 U자형 홈과 광 섬유 조임쇠(clamp)구조를 통해 해결 할 수 있었다. 가변 광 감쇠기 공정은 SOI 웨이퍼를 Deep RIE 및 RIE에 의한 건식 식각함으로써 고착 문제를 해결 할 수 있었고, Deep RIE의 공정 파라미터인 가스량과 코일 파워, 식각 및 보호막 조건을 최적화 하였다. 제작된 가변 광 감쇠기의 측정은 간단한 구동 전압 측정 시스템을 이용하여 측정 하였으며, 측정된 문턱전압은 스프링 너비에 따라 5 μ m에서 30V, 7 μ m에서는 47V였고, 앞서 계산한 결과 및 시뮬레이션 결과와도 거의 일치하였다. 마지막으로 가변 광 감쇠기의 가장 중요한 광학적 성능인자인 광 감쇠량을 측정하였고, 측정 결과 2.4dB에서 16.2dB의 비교적 좋은 광 감쇠량을 보였다.

참고 문헌

- [1] D. M. Bloom, "Grating light valves for high resolution displays", Electron Devices Meeting, Vol. 11, No. 3, p. 343, 1994.
- [2] E. Korolkiewicz, R. Armstrong, and C. D. Maddison, "Analogue coupling and digital cross-talk for high performance package feedthroughs", IEE Colloquium, Vol. 9, No. 5, p. 211, 1992.
- [3] 이정현, 홍윤식, 장성필, 정성천, "흡수형 썬기 shutter 구조에서의 가변 광 감쇠기", 제5회 MEMS 학술대회, p. 95, 2003.
- [4] L. J. Hornbeck, "Current status of the digital

- micromirror device (DMD) for projection television applications”, *Electron Devices Meeting*, Vol. 3, No. 4, p. 381, 1993.
- [5] Cornel Marxer, Christian Thio, Marc-Alexia Gretillat, Nicolaas F. de Rooij, Rainer Battig, Oliver Anthamatten, Bernd Valk, and Paul Vogel, “Micro-Opto-Mechanical 2×2 Switch for Single-Mode Fibers Based on Plasma-Etched Silicon Mirror and Electrostatic Actuation”, *J. MEMS.*, Vol. 6, No. 6, p. 277, 1997.
- [6] M. Sean Garner and Steve Caracci, “Variable Optical Attenuator for Large-Scale Integration”, *IEEE Photonics Technology LETT*, Vol. 14, No. 11, 2002
- [7] R. X. Gao and Ji Fang, “Design and performance evaluation of linear and rotary surface-driven electrostatic microactuators”, *International IEEE/IAS Conference.*, Vol. 11. No. 5, p. 572, 1995.
- [8] Leow Cheah Wei, A. Bakar Mahamniad, and N. Mohd. Kassim, “Analytical modeag for determination of pull-in voltage for an electrostatic actuated MEMS cantilever beam”, *Semiconductor Electronics.*, Vol. 3, No. 5, p. 233, 2002.