

광학응용을 위한 초소형 SDA(Scratch Drive Actuator) 액츄에이터의 설계 및 제작

김 지 우(金志祐), 이 승 섭(李承燮)*, 권 오 대(權五大)

포항공과대학교 전자전기공학과

*포항공과대학교 기계공학과

전화 : (0562) 279-5071 / 팩스 : (0562) 279-8119

Design and Fabrication of Scratch Drive Actuator for Optical Application using MEMS(Micro-electro-mechanical System) Technology

Ji-Woo Kim, Seung Seob Lee*, and O'Dae Kwon

Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Pohang University of Science and Tech.

*Dept. of Mechanical Engineering, Pohang University of Science and Tech.

E-mail : mapril@postech.ac.kr, sslee@postech.ac.kr, odkwon@postech.ac.kr

Abstract

In this paper, we present a polysilicon actuator on silicon wafer using surface micromachining technology which employs an electrostatic stepwise driven Scratch Drive Actuator to generate a force that can move an external object. For optical applications, we propose wavelength selector using distributed feedback structures and this micro actuator.

I. 서론

MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 분야는 반도체소자 제조기술과 정밀기계공학기술을 바탕으로 한 마이크로머시닝 기술로 마이크로 구조물, 마이크로 머신, 마이크로 센서 및 시스템을 제작하고 응용하는 연구분야이다. 또한, MEMS 분야는 광범위한 응용 범위를 가지고 있기 때문에 여러 분야의 전문지식을 필요로 하고 있다. 한편 전자공학의 집적화와 소형화는 첨단기술의 혁명을 가져왔고, 집적회로의 발명은 수많은 트랜지스터를 집적시킬 수 있는 것 이외에도 기능성 회로간의 연결을 가능하게 했다. 근래에 이르러 광학은 이러한 위치에 서게 되었다. 집적회로에서 트랜지스터간을 연결하는 선로와 유사한 광도파로를

통해 광소자들이 집적된 광집적회로 기술이 연구되고 있다. 그러나 이러한 평면적인 집적을 통해서만 광 디스플레이, 광 기록장치, 스위치, 센서 등에 쓰이는 자유공간 광시스템을 구현하기가 쉽지 않다. 또한 초고속 정보통신망을 구현하기 위하여 광부품의 고기능화, 소형화, 저가격화가 필수적이다. 이러한 문제점의 해결방법으로 MEMS 기술을 이용한 광부품의 개발이 활발하게 진행중이다.

본 연구에서는 집적화된 미소 광학계(integrated micro optics)의 실현을 위해서, MEMS 기술을 이용한 초소형 SDA(scratch drive actuator) 액츄에이터를 설계 및 제작하였고, 광학에의 응용방법을 모색하였다.

II. SDA의 구조 및 동작원리

그림 1은 간단한 형태의 SDA 구조와 파라미터를 나타낸다. 각 파라미터와 동작 주파수, 이동거리, 이동속도와의 관계는 다음 식으로 주어진다.

$$v = \Delta x \cdot f$$
$$\Delta x = \frac{H_B^2}{2[L_p - L_p(V)]} \dots (1)$$

여기서, v 는 구조체(SDA)의 이동속도, Δx 는 단위펄스에 대한 이동거리, f 는 동작주파수, H_B 는 구조체의

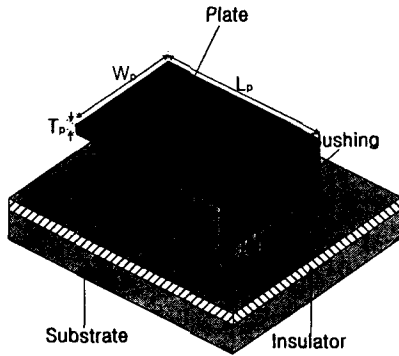


그림 1. SDA 구조와 파라미터

높이, L_p 는 플레이트의 길이, L_p' 는 절연층에 접촉되는 플레이트의 길이이다.

SDA의 동작원리를 그림 2에 나타내었다. 구조체의 플레이트와 밑면의 전극 사이에 전압을 인가해주면, 정전기력(electrostatic force)에 의해 플레이트가 절연층을 사이에 두고 밑면의 전극과 접촉한다(그림 2(b)). 전극과 플레이트 사이의 전압차가 0(V)가 되는 순간 절연층에 접촉된 플레이트는 탄성력을 받아 원위치로 돌아가려하며, 부싱(bushing)의 영향으로 오른쪽으로 이동하게 된다(그림 2(c)). 다시 전극과 플레이트 사이에 전압차가 생기면 플레이트는 절연층에 붙게된다(그림 2(d)).

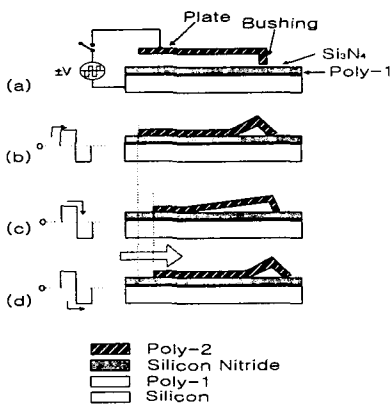


그림 2. SDA의 동작원리

III. SDA의 설계 및 제작

본 연구에서 제작한 소자는, SDA를 처음으로 제안한 일본 K. Shono 그룹의 실험결과[1]를 토대로 설계되었다.

SDA 구조체의 높이 H_B 가 클수록 단위펄스에 대한

이동거리 Δx 는 늘어나지만 동작을 위한 인가전압의 값(peak value)은 증가한다. 식(1) 및 K. Shono 그룹의 실험결과에 따르면 구조체의 높이는 $H_B=1.0\mu\text{m}$ 일 때는 인가전압이 100(V) 정도이며, $H_B=2.0\mu\text{m}$ 일 경우는 150(V) 정도등으로 보고되고 있다. 본 실험에서 제작된 소자는 인가전압을 100~120(V)를 예상하고 설계하였으며, 공정의 마지막 단계인 희생층 제거 부분에서 구조물의 점착(stiction)을 방지하기 위해서 구조체의 높이 $H_B=2.0\mu\text{m}$ 로 정하였다. SDA 플레이트의 폭의 경우, $W_p=80\mu\text{m}$ 일 때 SDA 플레이트의 길이 L_p 에 대한 Δx 의 상관관계를 알 수 있는데 L_p 가 $60\mu\text{m}$ 정도까지 Δx 가 증가하며, $60\sim 80\mu\text{m}$ 에서는 최대의 Δx 값을 갖고, $80\mu\text{m}$ 이상에서는 Δx 가 감소하는 경향이 있다. 이것을 바탕으로 본 연구에 사용될 소자의 W_p 와 L_p 를 각각 70, $75\mu\text{m}$ 로 정하였다. SDA가 앞으로 전진하면서 생기는 힘을 뒷부분으로 전달하는 역할을 하는 buckling 빔의 경우 적은 힘에 잘 휘도록 폭을 좁히고 길이를 길게 설계하였다. 선택된 빔의 폭은 $W_B=20\mu\text{m}$, 빔의 길이는 $L_B=420\mu\text{m}$ 이다.

실제 설계된 SDA의 레이아웃(layout)을 그림 3에 나타내었다.

SDA를 제작하기 위한 제작공정은 다음과 같다(그림 4). 소자의 하부전극으로 사용할 폴리실리콘을 증착하기 위하여, 웨이퍼를 세척한 후 기판위에 습식산화의 방법으로 10,000Å의 산화층을 형성하고, 전극으로 사용할 폴리실리콘을 LPCVD로 585°C에서 3,000Å 증착한다. 전기 저항을 부여하기 위해 폴리실리콘층에 POCl_3 도핑을 한다. 도핑후 폴리실리콘의 면저항이 $10 \Omega/\square$ 가 되도록, Predeposition과 Drive-in을 850°C에서 30분간 수행하였다. 첫 번째 마스크로 전극패턴을 사진식각한 후, RIE로 폴리실리콘을 3,000Å 건식식각한다. 하부전극과 구조체사이의 절연을 위하여 실리콘

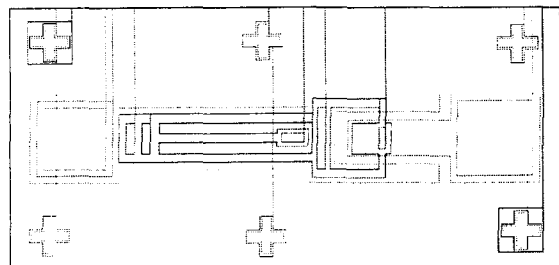


그림 3. 설계된 SDA의 layout

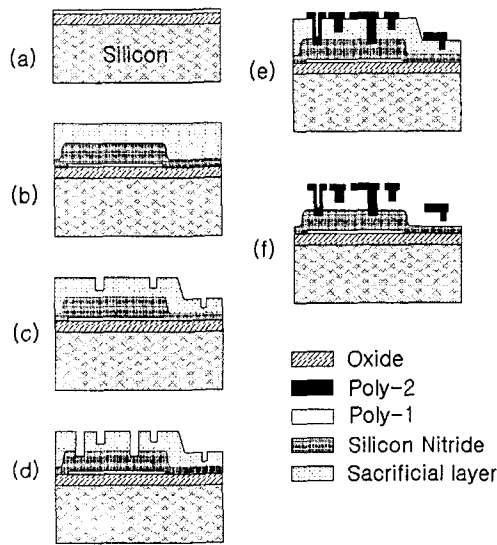


그림 4. SDA의 제작공정도

질화막(Si₃N₄)을 LPCVD로 3,000Å 증착하고, 질화막위에 희생층(sacrificial layer)으로 쓰일 TEOS(tetra-ethyl-orthosilicate) 산화막을 PECVD로 20,000Å 증착시킨다. 부싱몰드(bushing mold)를 건식식각하기 위해 사진식각작업을 거치고, RIE를 사용하여 TEOS 산화막을 식각한다. 식각깊이는 장비의 과도식각(over etch)을 고려하여 13,000Å 식각한다. 구조체와 하부전극을 연결해주는 앵커(anchor)를 제작하기 위해 사진식각과정을 거치고, TEOS와 실리콘 질화막을 RIE로 23,000Å 식각한다. 구조체로 쓰일 폴리실리콘을 LPCVD를 사용하여, 585°C에서 20,000Å 두께로 증착하고, 전도성을 부여하기 위해서 POC₁₃ 도핑을 한다. Predeposition은 850°C에서 90분, Drive-in은 850°C에서 150분간 수행하였다. 구조체를 형성하기 위해서 사진식각작업후 RIE로 폴리실리콘을 20,000Å 식각한다. 희생층을 제거하기 위해서 HF 용액으로 TEOS를 제거하고, 탈이온수(D.I. water)에 담궈둔다. 충분한 시간이 흐른 후, 50~70°C의 메탄올에 담근다. 마지막으로 50~70°C의 P-dechlorobenzene에 담근 후 승화건조기에서 건조시킨다. 제작된 SDA 소자를 그림 5에 보였다.

IV. SDA의 광학응용

그림 6에서는 그레이팅(grating) 구조[6]와 반사계수의 해석방법[7]를 나타내었다.

그레이팅구조를 갖는 플레이트에서 반사계수는 다음

식에서 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} E_0 \\ rE_0 \end{bmatrix} = B_{01}B_{12} \cdots B_{N(N+1)} \begin{bmatrix} A_{N+1} \\ B_{N+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} tE_0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdots (2)$$

단, B_{l(l+1)}, P_{l(l+1)}, h_{l+1}는 다음과 같다.

$$B_{l(l+1)} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} (1+P_{l(l+1)})e^{-ik_{(l+1)}h_{l+1}} & (1-P_{l(l+1)})e^{ik_{(l+1)}h_{l+1}} \\ (1-P_{l(l+1)})e^{-ik_{(l+1)}h_{l+1}} & (1+P_{l(l+1)})e^{ik_{(l+1)}h_{l+1}} \end{bmatrix}$$

$$P_{l(l+1)} = \frac{\mu_1 k_{(l+1)x}}{\mu_{l+1} k_{lx}}, \quad h_{l+1} = d_{l+1} - d_l$$

반사계수 r은 다음과 같다.

$$r = \frac{b_{21}}{b_{11}} \cdots (3)$$

따라서, 주기 λ를 갖는 규칙적인 도파로 사이에 일정한 거리 S = λ/4가 있는 구조물에 마이크로파 또는 광파가 지나갈 때, 최종적으로 통과되는 파는 주기 λ와 두 도파로 사이의 거리 S에 의존하는 파장 λ를 갖는다는 DFB(distributed feedback) 이론을 바탕으로, MEMS 기술로 구현한 SDA 액츄에이터로 두 도파로 사이의 간격 S를 조절함으로써 통과되는 파장 λ를 가변적으로 추출할 수 있다는 내용이다.

그림 7에서는 SDA 광학응용 연구의 개념도이다.

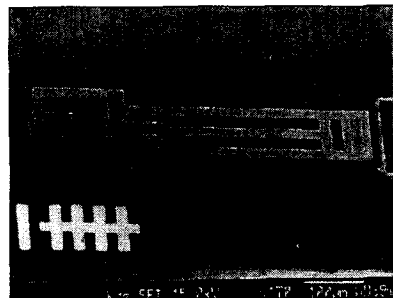


그림 5(a). 제작된 SDA의 모습



그림 5(b). SDA의 확대모습

V. 결론

본 연구에서는 광학응용을 위한 SDA 소자를 MEMS 기술로서 제작하였다. 완성된 SDA는 희생층 제거시 구조물의 접착을 방지하기 위하여 구조체의 높이는 $H_B=2.0\mu m$, 부싱의 높이는 $1.3\mu m$ 였고, SDA 플레이트의 폭 $W_p=70\mu m$, SDA 플레이트의 길이 $L_p=75\mu m$ 였다. SDA가 앞으로 전진할 때의 힘을 뒷부분으로 전달시켜주는 buckling 빔의 폭 $W_B=20\mu m$, 빔의 길이 $L_B=420\mu m$ 이었다. 향후 본 연구에서 설계 및 제작한 SDA 구조와 DFB 이론을 이용하여 가변파장 추출기 등 WDM에 사용될 수 있는 광학응용 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] T. Akiyama and K. Shono, "Controlled Stepwise Motion in Polysilicon Microstructures", IEEE J. of Microelectromechanical Systems, Vol. 2 No. 3, pp. 106-110, 1993
- [2] T. Akiyama and H. Fujita, "A quantitative analysis of scratch drive actuator using bucking motion", Proc. IEEE Micro Electro Mechanical System, Amsterdam, The Netherlands, pp. 310-315, 1995
- [3] T. Akiyama, D. Collard and H. Fujita, "Scratch Drive Actuator with Mechanical Links for Self Assembly of Three-Dimensional MEMS", J. of Microelectromechanical Systems, Vol. 6, No. 1, pp. 10-17, 1997
- [4] R. S. Muller and K. Y. Lau, "Surface Micromachined Microoptical Elements and Systems", Proc. of the IEEE, Vol. 86, No. 8, pp. 1705-1720, 1998
- [5] A. Spisser, R. Ledantec, C. Seassal, J. L. Leclercq, T. Benyattou, D. Rondi, R. Blondeau, G. Guillot and P. Viktorovich, "Highly Selective and Widely Tunable $1.55\text{-}\mu m$ InP/Air-Gap Micromachined Fabry-Perot Filter for Optical Communications", IEEE Photonics Tech. Lett., Vol. 10, No. 9, pp.1259-1261, 1998
- [6] W. S. C. Chang. "Periodic structures and their application in integrated optics", IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-21, 775-785, 1975
- [7] S. L. Chuang, "Physics of Potoelectronic Devies", Wiley, 1995

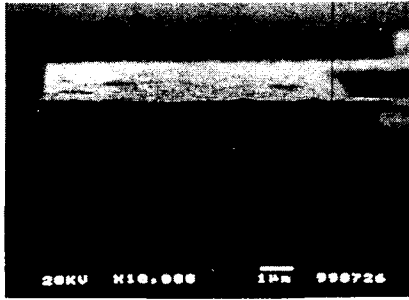


그림 5(c). SDA의 부싱부분을 확대한 모습

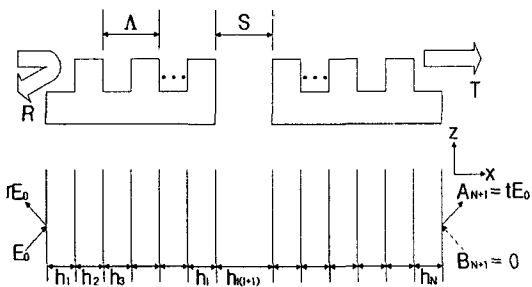


그림 6(a). 주기적 도파로의 모양과 해석방법

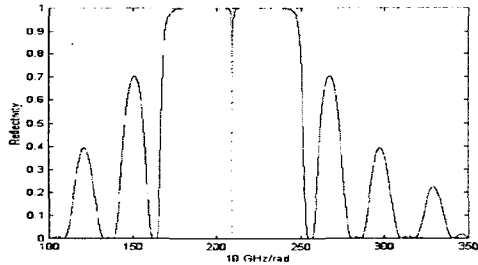


그림 6(b). DFB구조에서의 반사계수(R)

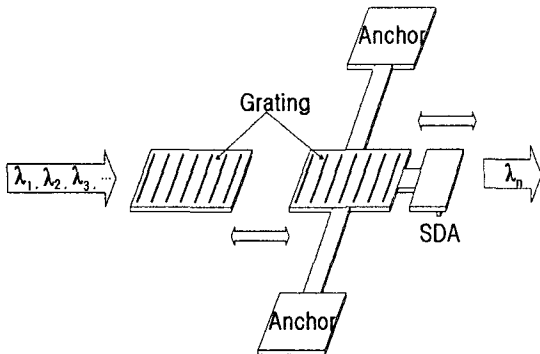


그림 7. SDA 광학응용의 개념도