

## E-T(Electro-Thermal) 액츄에이터를 이용한 microgripper

박호준\*, 이현기\*\*, 박정호\*

\*고려대학교 전기공학과, \*\*삼성전기

## Microgripper driven by E-T(Electro-Thermal) actuator

Hojoon Park\*, Hyunki Lee\*\*, Jungho Pak\*

\*Department of Electrical Engineering, Korea Univ., \*\*Samsung Electro-mechanics

**Abstract** - A microgripper driven by E-T (electro-thermal) actuators has been designed and fabricated by surface micromachining. This microgripper consists of two E-T actuators. Each actuator has two arms with different widths joined at the end to form a 'U' shape. The wider 'cold' arm has a narrow flexure at the end (anchor or electrode side) for easy bending. This actuator can be fabricated with only two masks - one for the sacrificial layer and the other for the poly-Si structure layer. An E-T actuator bends its arm due to unequal thermal expansion between the 'cold' arm and the 'hot' arm. This actuator tip moves laterally in an arcing motion towards the cold arm side when the structure is unevenly heated by the applied current. Therefore each microgripper is actuated inwards and can hold a micro-object. The fabricated E-T actuator was operated in the range of 2~12V and 1~5mA, and maximum tip displacement was 13.6 $\mu$ m. This device may become useful in many applications because an E-T actuator can be designed and fabricated easily, and obtain large displacement.

## 1. 서 론

최근 MEMS 기술의 발달과 더불어 많은 종류의 마이크로 액츄에이터가 개발·제작되고 있다. Microgripper는 마이크로 단위의 물체를 조작할 수 있고, micro tele-robotics 또는 biomedical 분야에 응용할 수 있는 액츄에이터로서, 이에 대한 연구는 약 10여년 전부터 시작되었다. Microgripper를 구동시키기 위한 방식으로는 정전 구동형[1], 압전체를 이용한 구동형, 열팽창형[2], SMA(Shape Memory Alloy)를 이용한 구동형[3] 등이 있다. 정전 구동형은 주로 comb drive에서 발생하는 정전력을 이용한 방식이 연구되어 왔다. 이 방식은 comb drive에서 발생하는 힘을 증가시키기 위하여 다수의 comb 구조를 형성해야 하고, 큰 변위를 얻기 위해서는 comb의 길이를 길게 해야 하므로 구조물의 크기가 커져야 되는 단점이 있다. 열팽창형은 주로 metal을 증착하여 다결정 실리콘 층과 metal 층 사이에서 발생하는 열팽창 계수의 차이를 이용하는 것으로서 metal의 증착 및 패터닝 공정으로 인하여 공정이 복잡해지고, 비용이 많이 들게 된다는 단점이 있다.

본 논문에서 제안한 microgripper는 E-T(electro-thermal) 액츄에이터에 의해 구동되는 것으로, 설계가 단순하고 다결정 실리콘 재질만을 사용하여 제작함으로써 회생층과 다결정 실리콘 패터닝을 위한 2장의 마스크만 필요하므로 공정이 간단할 뿐 아니라 10 V 내외의 낮은 구동 전압에서도 10  $\mu$ m 이상의 큰 변위를 얻을 수

있다는 장점이 있다.

본 논문에서는 microgripper에 인가되는 전압에 따른 변위와 전류값을 측정하고 이에 따른 저항값을 측정하여 특성을 분석 하고자 한다.

## 2. 본 론

## 2.1 동작원리

E-T 액츄에이터는 전류에 의해 발생하는 joule 열을 이용한 것으로서, 구동부위는 구조물의 폭이 작은 hot arm과 폭이 넓은 cold arm으로 구성되어 있다. E-T 액츄에이터에 전압을 인가할 때, 전류가 흐르는 각 arm의 단면적이 다르기 때문에 이에 따른 저항이 다르게 되어 발생하는 joule 열의 차이가 난다. 전류의 흐름에 의해 발생하는 단위 면적당 joule 열은 식 (1)과 같다.

$$\text{joule 열}(\text{W}/\text{m}^2) = E^2/\rho = VI/S \quad (1)$$

위의 식에서  $E$ 와  $V$ ,  $I$ 는 각각 전계와 전압, 전류를 나타내고,  $\rho$ 와  $S$ 는 각각 구조물의 비저항과 단면적을 나타낸다.

joule 열에 의해 발생하는 열에너지와 온도와의 관계는 식 (2)와 같으며,  $c$ 는 물질의 비열,  $m$ 은 질량, 그리고  $\Delta T$ 는 상온으로부터의 온도 변화량을 나타낸다.

$$\text{열에너지 } Q(\text{W} \cdot \text{s}) = c m \Delta T \quad (2)$$

식 (2)의 온도 상승에 의해 늘어나는 arm의 길이는 식 (3)과 같다.

$$l = l_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (3)$$

위의 식에서  $l_0$ 는 초기 arm의 길이,  $\alpha$ 는 팽창율을 나타내고, 발생한 joule 열의 차이에 의해 hot arm과 cold arm 사이에서 발생하는 온도가 서로 다르게 되어 각각의 팽창 길이가 달라지게 되므로 E-T 액츄에이터에 연결된 microgripper에 변위가 발생하게 된다[4].

## 2.2 설계 및 제작

E-T 액츄에이터는 폭이 다른 두 개의 구조물을 'U'자 형태로 연결하여 형성하였고, 2 $\mu$ m 두께의 다결정 실리콘으로 제작하였다. Hot arm과 cold arm의 길이는 400 $\mu$ m, 폭은 각각 3 $\mu$ m, 30 $\mu$ m로 함으로써 전류가 통과하는 단면적을 hot arm이 cold arm보다 작게 하여 변위가 더 많이 발생되도록 하였다. Microgripper는 두 개의 E-T 액츄에이터를 이용하였으며, 좌우의 액츄에이터는 각각 hot arm이 바깥쪽에 있고 cold arm이 안쪽에 있게 함으로써 좌우의 액츄에이터가 모두 안쪽으로 변위가 발생하여 미소물체를 잡을 수 있게 하였다. 그림 1은 E-T 액츄에이터 구동부위의 구조이다.

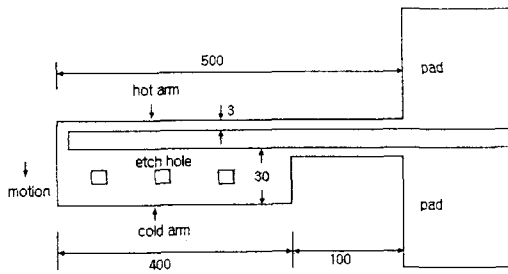
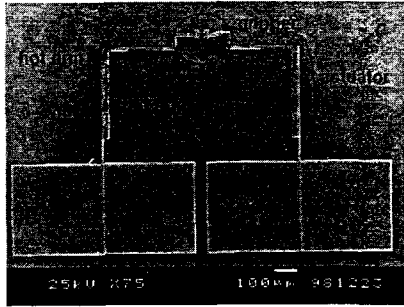
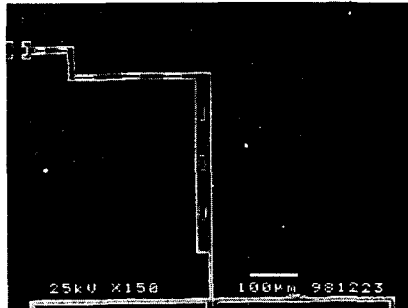


그림 1. E-T 액추에이터 구동부위의 개념도

제안한 microgripper는 다결정 실리콘을 이용한 표면 마이크로머시닝 기술로 제작되었다. 먼저 실리콘 기판에 전기적 절연을 위한 LPCVD 실리콘 질화막을 3000Å 두께로 증착시킨 후, 희생층을 증착하고 패터닝한다. 그리고 구조물로 사용되는 다결정 실리콘을 LPCVD를 통해 2 $\mu$ m 두께로 증착하고 도핑한 후 패터닝으로써 2장의 마스크만 사용하여 제작하였다. 그림 2는 제작된 microgripper의 SEM 사진이다.



(a) 전체평면도( $\times 75$ )



(b) 액추에이터와 microgripper의 부분도( $\times 150$ )

그림 2. E-T 액추에이터를 이용한 microgripper의 SEM 사진

### 2.3 측정방법

동작 실험은 그림 3에 나타난 것과 같이 probe station과 DC power supply, 그리고 CCD 카메라를 이용하여 수행하였다. 제작된 microgripper에 probe station을 사용하여 DC 전압을 0.5V 간격으로  $\sim 12$ V 까지 인가하여 구조물에 흐르는 전류를 측정하였고, 변위 측정은 2V 간격으로  $\sim 12$ V까지 인가하여 5초 간격으로 CCD 카메라를 이용하여 촬영하였다.

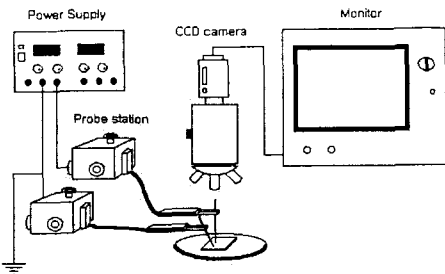


그림 3. Microgripper의 변위 측정을 위한 장치 모습도

## 2.4 실험결과 및 고찰

### 2.4.1 전압-전류 특성

Microgripper의 구동을 위한 전압을  $\sim 12$ V까지 인가하여 전류의 변화를 측정하였다. 그림 4는 microgripper의 인가전압에 따른 전류의 변화를 나타낸 것으로,  $\sim 12$ V까지 전압을 인가할 때 전류는 4.03 mA까지 증가하였다. 따라서, 제안한 microgripper는 일반적인 집적회로의 동작범위인 1 $\sim$ 5mA의 전류 범위에서 동작이 가능하다는 것이 확인되었다. 또한 전압-전류 특성에 의해 저항값을 구한 결과, 전압의 증가에 따라 저항값은 2.10k $\Omega$ 에서 2.98k $\Omega$ 까지 증가하는 경향을 나타내었다.

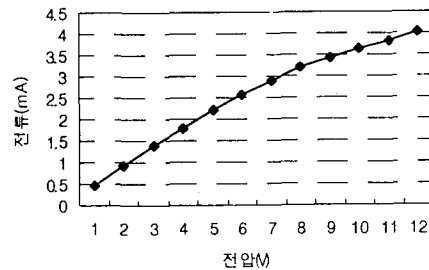


그림 4. 인가 전압에 따른 전류 변화

### 2.4.2 전압-변위 특성

그림 5는 인가 전압에 따른 microgripper의 변위를 나타낸 것이다.

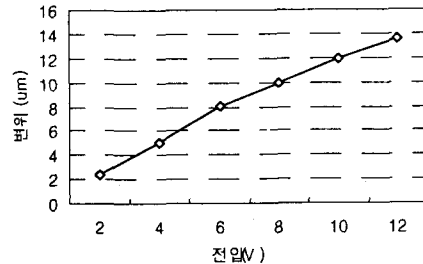


그림 5. 인가 전압에 따른 microgripper 변위

인가 전압이  $\sim 2$ V까지는 microgripper의 변위가 거의 발생되지 않았고, 2V의 전압 인가시부터 약 2.4 $\mu$ m의 변위가 발생되기 시작하였다. 인가 전압을 증가시키에 따라 변위도 증가하였으며, 12V에서 최대 약 13.6 $\mu$ m의 변위를 얻을 수 있었다. 또한 14V 이상으로 전압을 인가하면 E-T 액추에이터가 붉게 달아오르는 현상이 관측

되었으며, 약 16V의 전압 인가시에는 액츄에이터와 전극 사이의 연결 부위가 파손되는 것이 관찰되었다. 이는 인가 전압이 증가됨에 따라, 전극과 액츄에이터 사이의 연결 부위와의 면적차이로 인해 온도 구배가 커지게 되어 electromigration 현상이 발생된 것으로 추측된다. 그림 6은 파손된 E-T 액츄에이터의 SEM 사진이다.

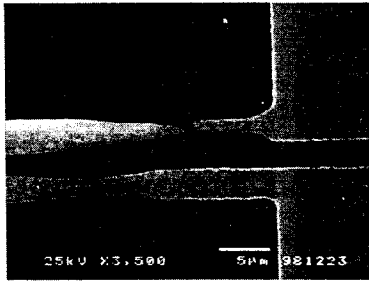


그림 6. 16V 인가시 파손된 E-T 액츄에이터의 SEM 사진( $\times 3500$ )

### 3. 결 론

본 연구에서는 표면 마이크로머시닝 기술을 이용하여 회생층과 다결정 실리콘 한 층으로 microgripper를 설계, 제작하였다. 제작된 microgripper는 joule열을 이용하는 2개의 E-T 액츄에이터로 구성되었으며, 각 액츄에이터는 폭이 작은 hot arm과 폭이 넓은 cold arm으로 구성되어 있어, 전압을 인가했을 때 전류가 흐르는 각 arm의 면적이 다르기 때문에 발생하는 joule 열의 차이로 인해 변위가 발생되는 것을 이용하였다. 인가 전압에 따른 전류의 변화와 microgripper의 변위를 관찰한 결과 약 2V 이상에서 변위가 발생되었으며, 전압의 증가에 따라 변위가 증가하여 12V에서 최대 변위 13.6  $\mu\text{m}$ 가 얻어졌다. 또한 14V의 전압에서는 E-T 액츄에이터가 붉게 달아오르는 현상이 관측되었으며, 약 16V의 전압 인가시에는 액츄에이터와 전극 사이의 연결부위가 파손되는 것이 관찰되었다. 이상의 결과를 토대로 본 논문에서 제안한 E-T 액츄에이터는 설계 및 제작이 단순하고 2V~14V의 동작범위를 가지므로, 일반적인 집적 회로의 동작범위인 2~12V의 전압 범위와 1~5mA의 전류 범위에서 동작한다는 것을 확인하였다. 따라서, E-T 액츄에이터는 다른 초소형 소자와의 집적화가 가능하며, 큰 변위를 얻을 수 있으므로 microgripper 등의 다양한 구동 장치에 응용이 가능함을 파악하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Chang-Jin Kim, Albert P. Pisano, "Polysilicon microgripper", Sensors and Actuators, A. 33, pp. 221-227, 1992
- [2] Chang-Jin Kim, "Silicon electromechanical microgrippers : design, fabrication, and testing", Doctoral Dissertation, University of California, November, 1991
- [3] Abraham P. et al., "A practical microgripper by fine alignment, eutectic bonding and SMA actuation", Sensors and Actuators, A. 33, pp. 755-759, 1996
- [4] Ph Lerch, et al., "Modelization and characterization of asymmetrical thermal micro-actuators", J. Micromech. Microeng. 6, pp. 134-137, 1996