

## 코플라나 전극 구조를 이용한 정전용량 형 고성능 유연 투명 촉각 센서

유재영\*, 서민호, 이재신, 윤준보  
 KAIST 전기 및 전자공학부  
 E-mail: john9292@kaist.ac.kr

### COPLANAR ELECTRODES TYPE CAPACITIVE TACTILE SENSOR FOR HIGH FLEXIBILITY AND TRANSPARENCY

Jae-Young Yoo\*, Min-Ho Seo, Jae-Shin Lee, Jun-Bo Yoon  
 School of Electrical Engineering, KAIST

**Abstract**

Flexible and transparent capacitive tactile sensor is essential to measure various external pressure on curved and dynamic surface such as wearable devices. However, conventional flexible and transparent capacitive tactile sensors apply a design to improve sensitivity, but do not consider sensitivity changes on curved surfaces. Here, we develop bending-immune flexible and transparent capacitive tactile sensor for reliable measurement in bending. To reduce sensitivity changes in bending, we use coplanar electrodes for decreasing deformation of sensing area. Our fabricated tactile sensor shows not only sensitivity was maintained down to a bending radius of 4 mm, but also the high-robustness against repeated bending-release ( $>10^4$ ) with bending radius of 4 mm. Moreover, we obtained high transmittance over 90 % transmittance at 550 nm wavelength by using low concentration of nanoparticle in SU-8. Finally, the fabricated prototype tactile sensor showed the real-time capacitance change by various pressure.

**Keywords:** Coplanar electrode (코플라나 전극), Capacitive tactile sensor (정전용량 형 촉각 센서), Bending-immune (굴곡 면역), Flexible (유연), Transparent(투명)

**1. 서론**

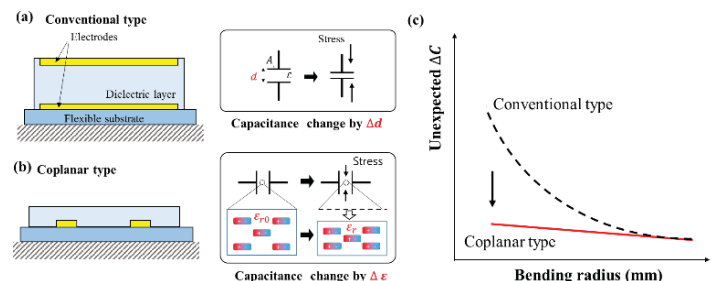
촉각 센서는 헬스케어, 인공 피부, 휴머노이드 로봇 등 다양한 응용 처에 사용할 수 있기 때문에 최근 관심을 많이 받고 있다 [1]. 위와 같이 다양한 굴곡진 표면을 가지는 어플리케이션에 사용하기 위해서는 유연하고 투명한 촉각 센서가 필요하다. 다양한 방식의 촉각 센서 중 정전용량 형 촉각 센서는 간단한 제작 방법으로도 정적/동적인 압력을 인식할 수 있을 뿐만 아니라, 구동 시 전력소모가 적다는 장점이 있다. 더불어, 최근 정전용량 형 촉각 센서들은 전극과 절연체에 나노파티클, 나노와이어, 다공성물질 등을 사용함으로써 손 쉽게 높은 유연성과 투과도를 갖을 수 있기에 유연 투명 촉각 센서로 이용이 매우 적합하다 [2,3]. 하지만, 기존 정전용량 형 유연 투명 촉각 센서들은 민감도 향상을 위한 디자인을 적용하였을 뿐, 다양한 굴곡진 표면에서의 감지 영역의 변형에 따른 민감도 변화는 고려하지 않았다. 이에, 본 연구는 다양한 굴곡진 표면에서도 일정한 민감도를 가지는 유연 투명 촉각 센서를 제안한다. 이를 구현하기 위해 기존 정전용량 형 촉각센서들과

달리 동일 평면상의 전극 구조인 Coplanar electrode 를 적용하였다. Coplanar electrode 를 사용하여 구부러질 때(bending) 변형되는 감지 영역을 줄임으로써 Bending 에 영향을 받지 않는 신뢰 적인 유연 투명 촉각 센서를 구현하였다.

**2. 본론.**

**2.1. Methods**

기존 정전용량 형 촉각 센서는 민감도를 향상 시키기 위해 Fig. 1 (a)와 같이 힘의 방향과 동일한 방향인 수직 방향의 전극을 사용하였다. 더불어 최근에는 유연 촉각 센서를 구현하기 위해 전극과 절연체에 나노파티클, 나노와이어, 다공성물질 등을 사용하고 있다. 하지만, 수직 방향의 전극을 사용시 감지 영역(전극과 절연체)을 얇게 제작을 못하는 어려움이 있다 [4]. 따라서, 수직 방향의 전극을 이용한 촉각 센서는 Bending 시 두꺼운 감지영역으로 인해, 감지 영역이 큰 Strain 을 받게 된다. 이때, 감지 영역의 기계적 변형에 따라 민감도의 변화가 발생하게 되고, 다양한 환경에서의 신뢰 적인 측정에 한계를 가지게 된다. 이를 극복하고자 본 연구에서는 Fig. 1 (b)와 같이 Coplanar electrode 를 사용하여 감지 영역의 두께(전극의 두께 = 30 nm)를 극소화 하였다. 또한, 수직 방향의 힘을 인식하기 위해 전극 사이의 압력에 따른 유전을 변화를 이용하였다. 최종적으로 본 연구는 Coplanar electrode 를 이용하여 감지 영역의 두께를 줄임으로써 Fig. 1 (c)와 같이 적은 곡률 반경(bending radius)에서도 일정한 민감도를 유지하는 유연 투명 촉각 센서를 구현하고자 하였다.



**Figure 1. (a) 기존 수직 방향 전극 및 (b) Coplanar electrode type 의 촉각 센서 구동 원리, (c) 곡률 반경에 따른 민감도 변화**

2.2. Fabrication

Fig. 2(a)와 같이 간단한 공정을 통해 Coplanar electrode 를 가진 유연, 투명 촉각 센서를 구현하였다. 특히, Coplanar electrode 을 이용한 촉각 센서를 구현 시, 압력에 따른 유전율의 변화를 크게 하기 위해 Passivation layer 이자 절연 물질인 SU-8 에 Gold nanoparticle 을 첨가하였다. Nanoparticle 을 사용하여 유전율을 높이기 될 경우 압력에 따른 유전율 변화를 크게 가져 올 수 있지만, 투과도가 낮아지는 단점이 있다. 따라서, 본 연구는 민감도 향상뿐만 아니라 높은 투과도를 유지하기 위해 Gold nanoparticle 을 SU-8 의 0.4 wt% 섞어 전극을 Passivation 하였다. 제작된 소자는 Fig. 2(b)와 같이 20  $\mu\text{m}$  간격의 Coplanar electrode 를 형성하였으며, 적은 농도의 Particle 로 유전율을 향상 시킨 SU-8 을 성공적으로 투명하게 Passivation 하였다.

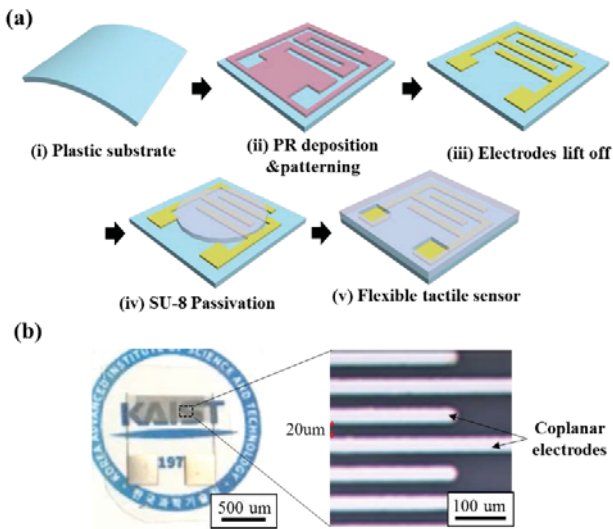


Figure 2. 유연 투명 촉각 센서의 (a) 제작과정 및 (b) 광학 사진

2.3. Results

적은 농도의 Nanoparticle 을 사용하여 SU-8 의 유전율을 향상 시켰으므로, Fig. 3(a)와 같이 550 nm 의 파장에서 90 %이상의 투과도를 유지할 수 있었다. 또한 Fig. 3(b)에서 Coplanar electrode 를 사용하여 감지 영역의 두께를 전극의 두께로 줄였기 때문에 곡률 반경을 4 mm 이하로 구부렸을 때 정전용량의 변화가 0.3 % 이하로 유지시킬 수 있었고, Bending 상황에서도 신뢰 적임을 확인하였다.

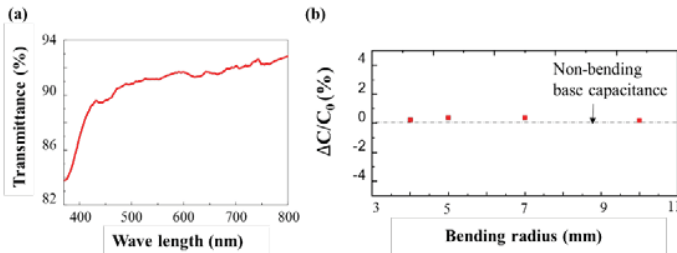


Figure 3. 투명 유연 촉각 센서의 (a) 투과도 및 (b) Bending 에 따른 정전용량 변화

제작한 유연 투명 촉각센서를 Fig. 4(a)와 같이 다양한 압력을 주기적으로 가했으며, Fig. 4(b)에서 보여지듯이 압력에 따라 정전용량의 변화가 다르게 발생됨으로써 촉각 센서로서의 사용가능성을 확인하였다. 또한 제작한 소자의 경우 SU-8 의 유전율을 향상시켜 기존 촉각센서로 보고 된 논문들과 비슷한 수준의 민감도까지 향상 시킬수 있었다.[5]

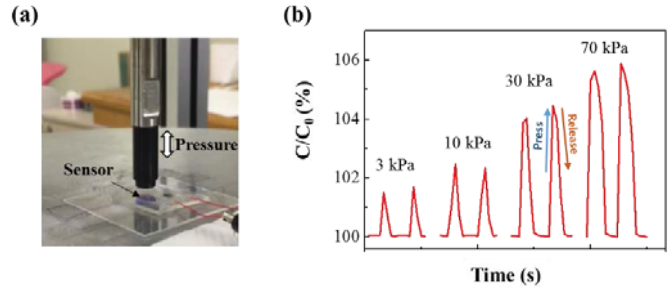


Figure 4. (a) 압력 측정을 위한 측정 셋업, (b) 압력에 따른 정전용량 변화

최종적으로 소자의 기계적 안정성을 측정하기 위해 곡률 반경을 4 mm 로 약 10000 회 이상을 Bending 한 후에도, Fig. 5 와 같이 Bending 전과 후의 민감도 변화는 없어 제작한 소자가 Bending 에 대해 기계적으로 안정함을 확인하였다.

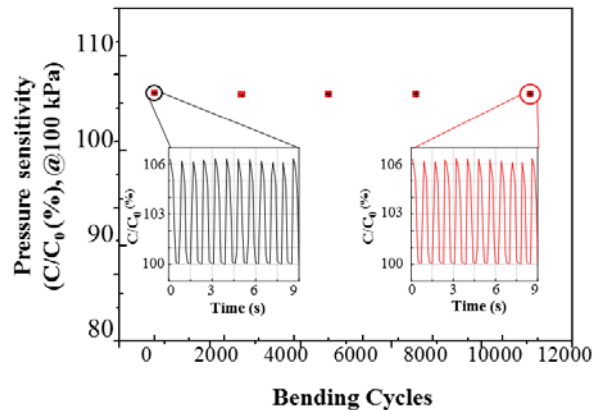


Figure 5. Bending 횟수에 따른 민감도 변화

3. 결론

본 연구에서는 유연 기관 위에 Coplanar electrode 를 이용하여 정전용량 형 유연 투명 촉각 센서를 구현하였으며, 다양한 곡률 반경과 압력에서 신뢰 적이게 측정할 수 있음 확인하였다.

4. 사사

이 논문은 동부문화재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (프로젝트 번호 G01150375).

5. 참고 문헌

[1] Gong, S., et al; *Nat. Comm.* **2014**, 5, 1-8.  
 [2] Wang, J., et al; *Nanoscale* **2015**, 7, 2926-2932  
 [3] Park, S., et al; *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2016**, 8, 24773-24781  
 [4] Lee, S., et al; *Nat. Nanotechnol.* **2016**, 11, 472-478.  
 [5] Vandeparre, H., et al; *Appl. Phys. Lett.* **2013**, 103, 204103.