

# 나노 구조물을 갖는 압력 센서

개발자: 김진석

Korea Institute of Science  
and Technology

한국과학기술연구원

# Background

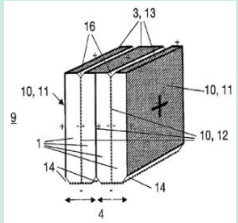
## ➤ MEMS pressure sensor

- ✓ MEMS pressure sensor의 생산량은 200 million 이상(2005)
- ✓ Automotive, medical, industrial, military application 영역에서 점차 점유율 확대
  - ✓ Automotive
    - ✓ Engine manifold monitoring, tire pressure monitoring, oil & break pressure
    - ✓ 연료의 경제성과 자동차의 안전 향상
  - ✓ Medical
    - ✓ 안구 내, 두개 내, 동맥 등의 pressure 측정 및 혈압 측정에 사용

## ➤ 제안된 sensor의 필요성

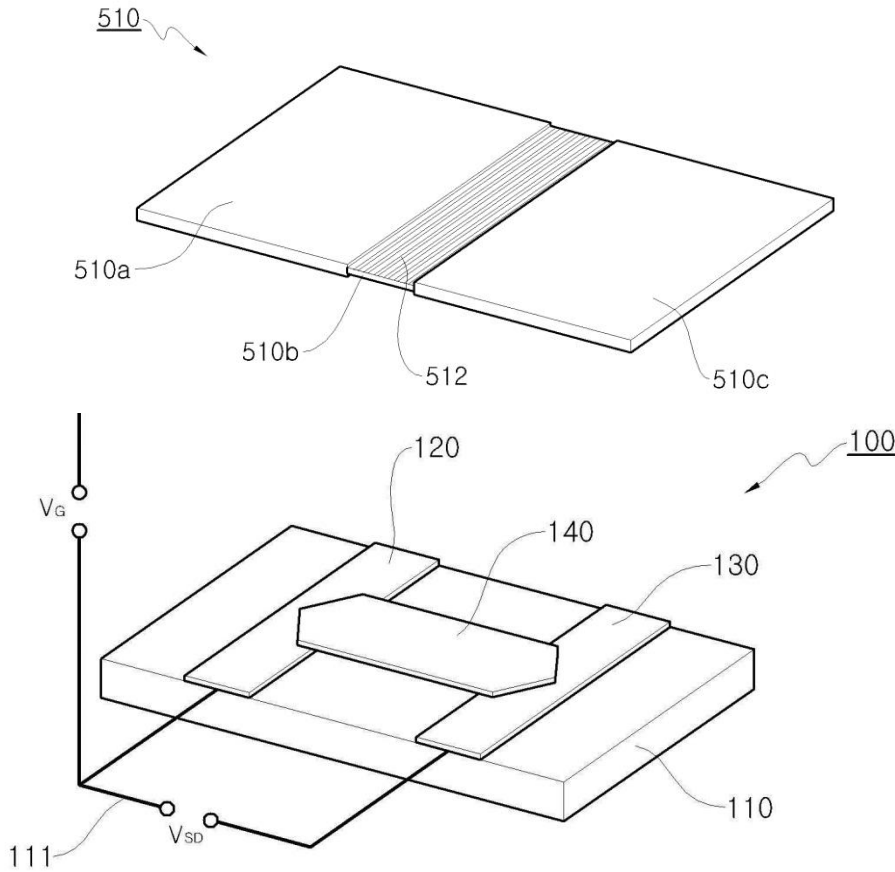
- ✓ 기술이 발전함에 따라 높은 sensitivity와 빠른 응답속도를 갖는 pressure sensor를 요구
- ✓ 상용화된 pressure sensor (106B model, PCB PIEZOTRONICS 社)
  - ✓ Sensitivity : 43.5 mV/kPa
  - ✓ 응답 속도 : <1 ms
- ✓ 제안된 pressure sensor
  - ✓ 나노 구조물을 포함하여 sensor의 sensitivity와 응답 속도 향상 예상
    - ✓ 예상 sensitivity : 50 mV/kPa (센서의 소형화에 따른 신호 감소 효과)
    - ✓ Limit of detection: <20 kPa
    - ✓ 예상 응답 속도 : <1 ms (PZT) <100 ms (PVDF)

# 선행기술

선행기술	기술요약	본발명과의 비교
<p>다층의 piezoelectric element를 이용한 sensor</p>	 <p>- Piezoelectric element의 multi-layer를 통한 sensor의 sensitivity 개선</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 본원의 sensitivity 개선을 위한 접근 및 방식이 다름</li> <li>- 본원의 나노 구조물을 이용한 센서의 개발은 보다 간단한 과정을 통해 개발 가능</li> </ul>
<p>Electronic skin에 적용하기 위한 pressure sensor 개발</p>	 <p>- Electronic skin에 적용하기 위해 PDMS를 이용하여 flexible한 pressure sensor 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5um 크기의 피라미드 모양의 PDMS를 이용하여 sensitivity를 높였으나, 본원의 구조보다 PDMS 크기나 sensitivity가 낮음(약 2.5배 차이)</li> <li>- 파리 1마리(~50mg)를 이용하여 pressure 측정 결과, 피라미드 구조가 있는 경우 pressure 검출이 가능</li> </ul>
<p>Large capacitance signal과 high sensitivity를 가지는 pressure sensor 제작</p>	 <p>- 벌집 모양의 sensor array를 통해 기생용량(parasitic capacitance)을 줄임으로써, signal 크기와 sensitivity 개선</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기생용량(parasitic capacitance)을 줄이기 위한 array로 인해, sensor의 크기 증가</li> <li>- 본원의 초기 실험 sensitivity보다 낮은 sensitivity를 가짐(약 10배 차이)</li> </ul>
<p>Nanowire를 이용하여 높은 sensitivity를 갖는 pressure sensor 개발</p>	 <p>- Source와 drain 사이에 Si nanowire를 연결한 NWFET 구조를 circular diaphragm과 연결하여 sensor의 sensitivity 향상</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 나노 와이어 제작을 위한 공정 과정이 복잡하고, 쉽게 파손의 우려 있음</li> <li>- NWFET과 diaphragm의 연결로 인해, sensor 1개의 크기가 약 600 x 600 um<sup>2</sup>로 매우 큼</li> </ul>

# 특허 내용

## 제안된 압력 센서



### ✓ 주 청구항

- ✓ 기판 상에 소정 간격으로 이격되어 배열되는 소스 전극과 드레인 전극
- ✓ 소스 전극과 드레인 전극 상에 배치되는 플렉시블 센서 레이어
- ✓ 플렉시블 센서 레이어의 표면에 나노 크기의 주름을 갖는 나노 구조물 접착.

### ✓ 청구항

- ✓ 3차원 방향에 따른 압력 감지의 극대화를 위해 나노 구조물의 표면에 돔 구조물 접착

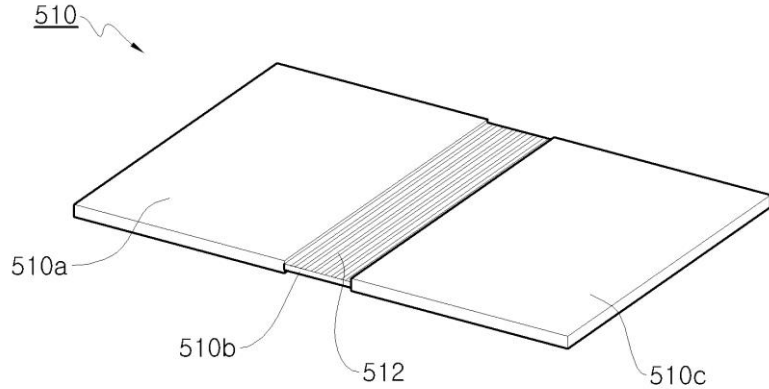
### ✓ 청구항

- ✓ 박막 PVDF 또는 루브렌 크리스탈로 플렉시블 레이어 제작.

### ✓ 청구항

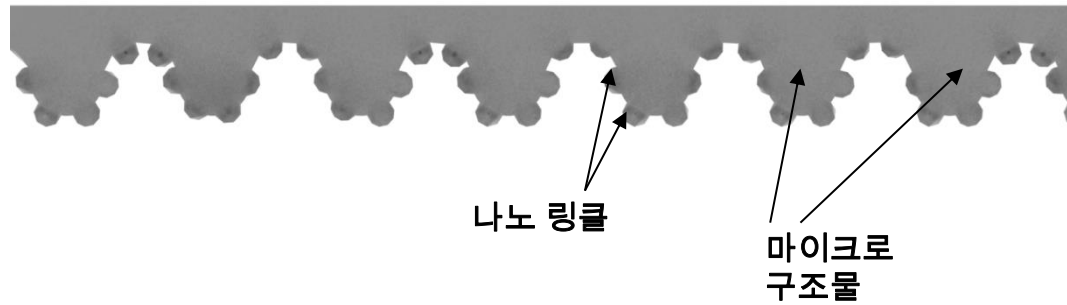
- ✓ 나노 구조물은 폴리머 재료로 제작.

## 제안된 압력 센서



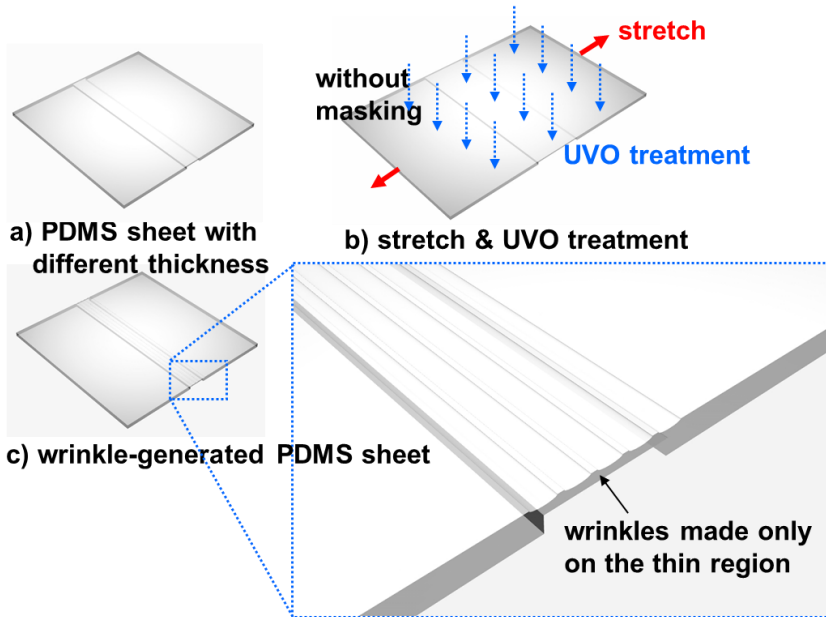
### ✓ 청구항

- ✓ 나노 크기의 주름을 갖는 나노 구조물 및 마이크로/나노 하이브리드 형태의 구조물 제작.
- ✓ Lotus의 구조와 유사하게 마이크로 구조물위에 링클로 형성된 나노구조물의 제작을 통해 감도, 최소감지 분해능, 응답속도등의 향상을 가져오도록 함



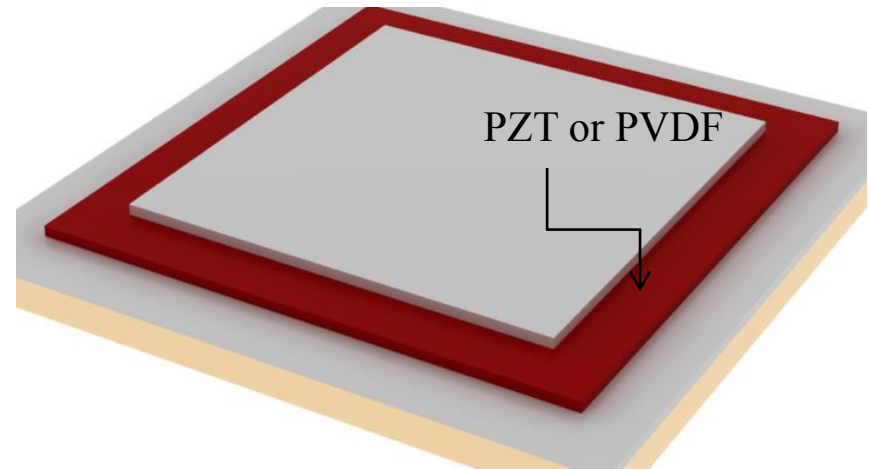
# Background

## 나노 링클 구조



- ✓ 노화 연구를 위한 기본 연구로 2000년 대 후반 가능성이 연구
- ✓ 나노 링클 구조 제작
  - ✓ 다른 두께를 갖는 PDMS 사이에 작용하는 stress 차이를 이용하여 나노 링클 구조 제작

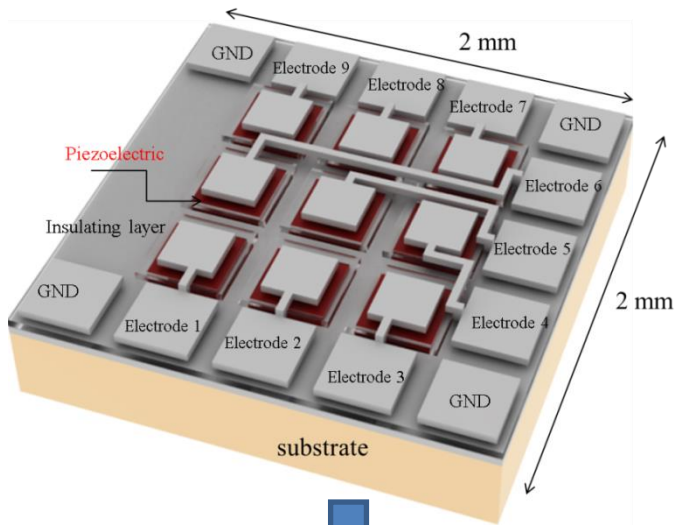
## Piezoelectric sensor



- ✓ 압전 소자를 이용한 센서
- ✓ 압력에 의한 전위차의 변화를 검출
- ✓ 장점 : linearity, 동적 변화 측정 용이
- ✓ 단점 : 정적 압력 측정 불가

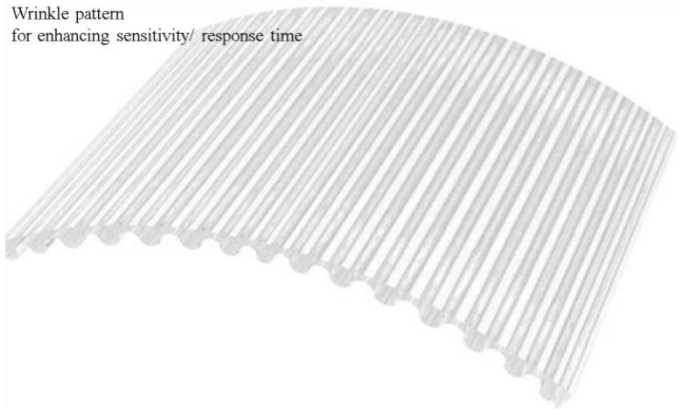
# 발명의 구성 및 동작

## 1st layer - Sensing layer

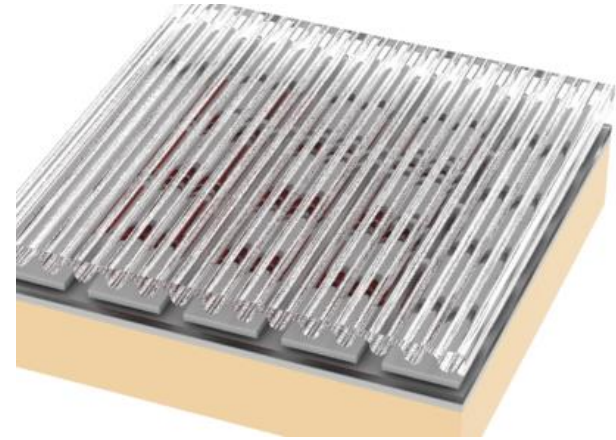


## 2nd layer - Enhancing layer(nano wrinkle)

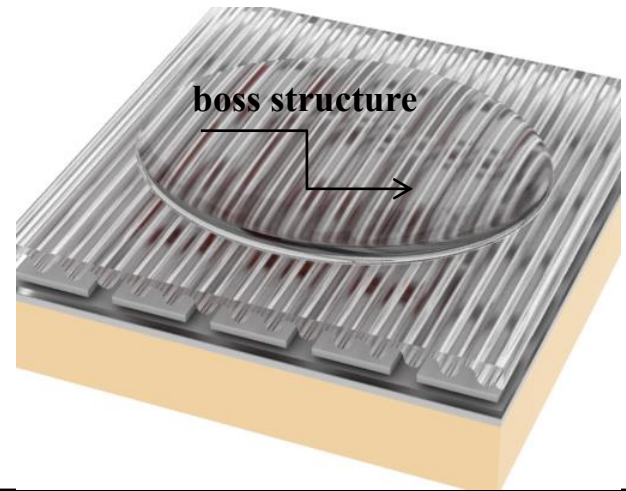
Wrinkle pattern  
for enhancing sensitivity/ response time



## Sensing/enhancing layer integration

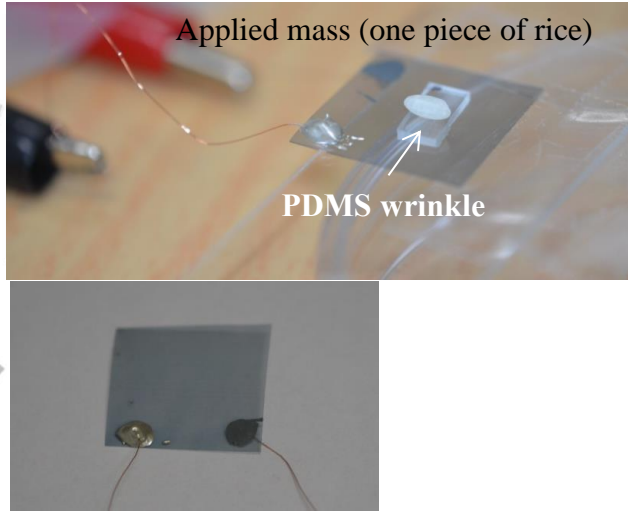
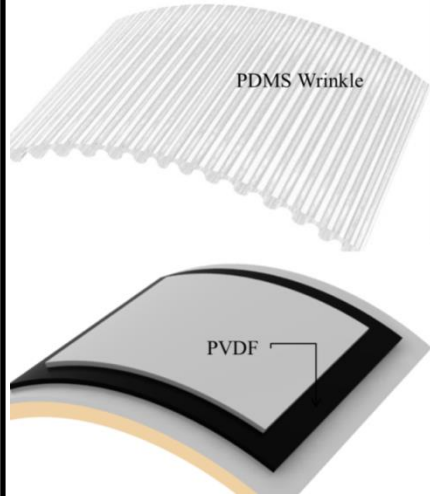


## Sensing/enhancing/boss layer integration



# 나노 링클 복합 구조물의 감도 증진 결과

## 실험 setup



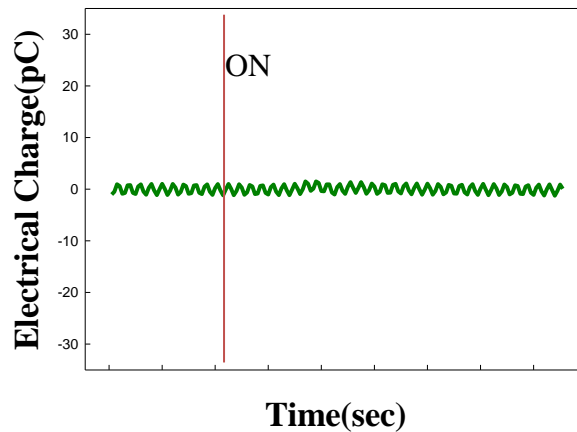
PVDF Dimension: 20 x 20 mm x 80 um (W x L x t)

PDMS: 20 mm x 10 mm x 900 um (W x L x t)

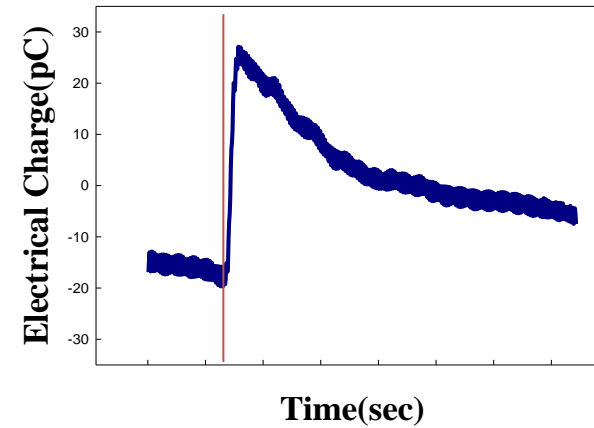
Applied mass: 0.023g (mass of one rice grain)

## Result

w/o PDMS wrinkle



w/ PDMS wrinkle

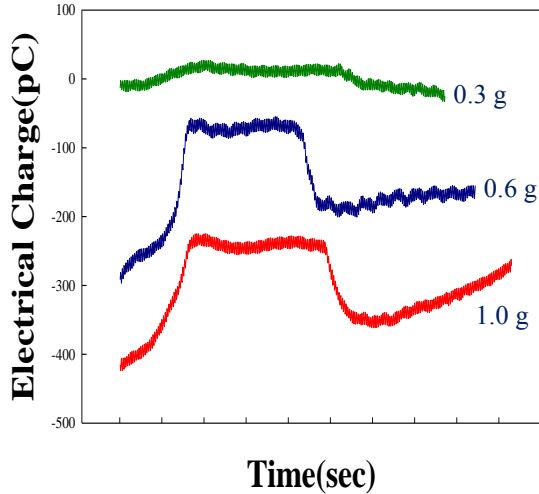




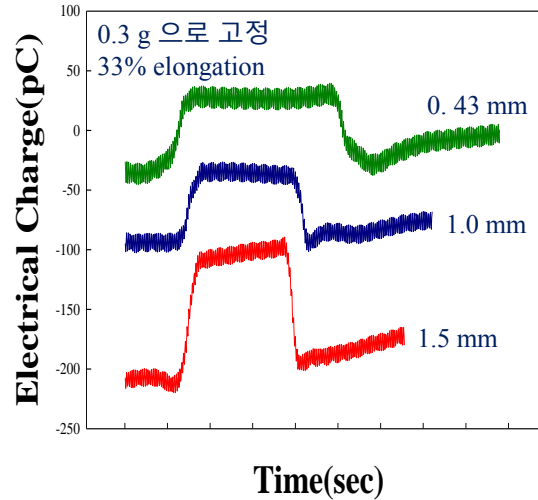
# 나노 링클 복합 구조물의 감도 증진 결과

## PDMS 두께에 따른 변화

PVDF w/o PDMS & Wrinkle layer



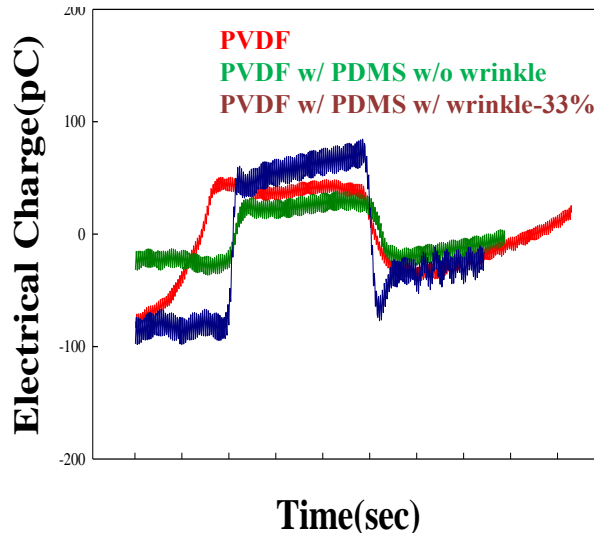
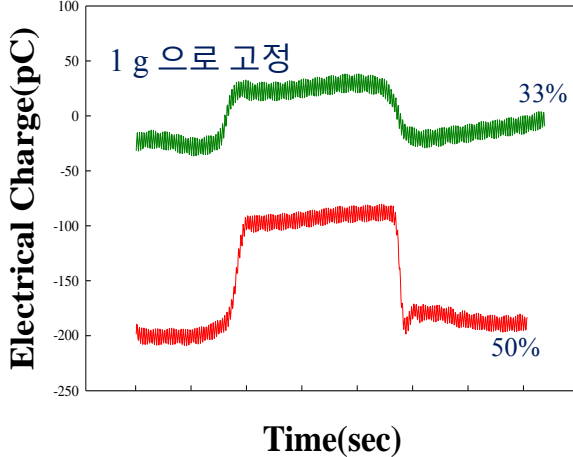
PVDF w/ PDMS & Wrinkle layer



1. 나노 링클이 없는 경우 0.3 g과 같은 신호의 감지가 어려움
2. 나노 링클이 없는 경우 linearity가 확보되지 않음
3. 0.3g의 데이터를 비교시, 감도가 크게 증진
4. PDMS의 두께에 따른 신호크기(감도)의 변화에 대한 추가실험 필요 - 33%의 경우만의 데이터만 확보

## PDMS elongation에 따른 변화

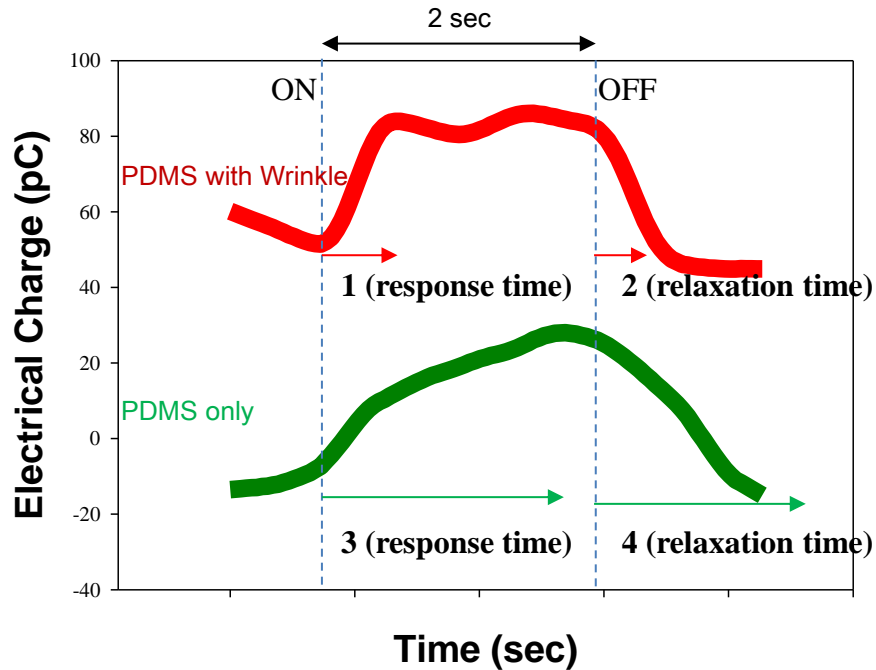
Wrinkle(1.0t, 1cm/1.6cm, mass3)



1. Elongation의 변화에 따라 신호의 감도가 달라지는 것으로 관찰
2. Elongation은 나노링클의 높이 (magnitude)과 크기(cycle 또는 링클밀도)에 영향을 주는 요소
3. PVDF의 Ferroelectric 특성에서 PDMS에 의한 온도차단 효과로 인해 두께에 따라 신호의 크기 비교 어려움 - 추가 실험 필요
4. PDMS w/wrinkle의 response time이 작아 PVDF와 PDMS w/o wrinkle보다 relaxation 좋음.

— stretch distance : 1cm  
— stretch distance : 1.6cm

## 나노링클의 형성 유무에 따른 응답속도변화



1. 나노링클을 형성한 PDMS층의 사용한 경우 PDMS만을 사용한 센서신호와 비교하여 초기 response time 및 후기 relaxation time에 큰 변화를 보임
2. Response time: 4 배 증가
  - (1) PDMS나노링클(red): 400 ms
  - (3) PDMS only (green): 1600 ms
3. Relaxation time: 3배 증가
  - (2) PDMS나노링클(red): 400 ms
  - (4) PDMS only (green): 1200 ms

# 발명의 효과

