

# The 22<sup>nd</sup> Korean MEMS Conference

## 제22회 한국 MEMS 학술대회

2020.8.19(수) ~ 8.21(금) | 휘닉스 평창 |

### Plenary & Invited Speakers

#### Plenary talk

8.20(목) 10:00~10:50(50") \_ 삼성 전자 주혁 상무

#### Invited talk

8.20(목) 09:15~09:45(30") \_ 광운대 박재영 교수

8.20(목) 13:30~14:00(30") \_ 서울대학교 김호영 교수

8.21(금) 13:30~14:00(30") \_ 울산과학기술원 고현협 교수

### Tutorial Session

#### Smart Wearables for The 4<sup>th</sup> Industrial Revolution

Organizer: 박재영교수 (광운대), 전자MEMS 분과위원회

- 최정일교수 (국민대) Microfluidic Wearables 50분 강연
- 정재웅교수 (KAIST) Bio Wearables 50분 강연
- 김정현교수 (광운대) Wireless Wearables 50분 강연

### Conference Topics

1. Materials, Fabrication, and Packaging Technologies
2. Fundamentals in MEMS/NEMS
3. Micro/Nanofluidics and Lab-on-a-Chip
4. Bio/Medical Micro/Nano Devices
5. Micro/Nano Sensors and Actuators
6. RF/Optical Micro/Nano Devices
7. Micro/Nano Energy Devices
8. Flexible and Printed Devices
9. MEMS/NEMS Applications and Commercialization

### Pre-registration

- ★ 온라인 사전등록 기간 : ~2020년 8월 10일(월)
- ★ 등록처 : 학회 홈페이지 : [micronanos.org](http://micronanos.org)

### Program

#### 8.19 (수요일)

13:30~17:00

14:00~16:50(170")

16:50~17:30(40")

17:30~19:00(90")

등록

Tutorial Session (Smart Wearables for the 4<sup>th</sup> Industrial Revolution)

휴식

리셉션

#### 8.20 (목요일)

08:00~09:00(60")

09:00~09:15(15")

09:15~09:45(30")

09:45~10:00(15")

10:00~10:50(50")

10:50~12:00(70")

12:00~13:30(90")

13:30~14:00(30")

14:00~15:00(60")

15:00~15:20(20")

15:20~16:20(60")

16:20~17:30(70")

17:30~19:30(120")

구두 발표 TO-1 Physical and Mechanical Micro/Nano Sensors

휴식

학술상 초청강연1 (Invited talk 1) 광운대 박재영 교수

개회식

기조강연 (Plenary talk) 삼성전자 주혁 상무

포스터 발표 TP-1

후원기관 소개 및 점심

초청강연 2 (Invited talk 2) 서울대 김호영 교수

구두 발표 TO-2 Nature-Inspired Microsystems

휴식

구두 발표 TO-3 Physics and Chemistry of Micro/Nanofluidics

포스터 발표 TP-2

만찬

#### 8.21 (금요일)

08:00~09:00(60")

09:00~10:10(70")

10:10~11:10(60")

11:10~12:20(70")

12:20~13:30(70")

13:30~14:00(30")

14:00~15:00(60")

15:00~15:20(20")

구두발표 FO-4 Bio/Medical Micro/Nano Devices

포스터 발표 FP-3

구두발표 FO-5 Lab-on-a-Chip

포스터 발표 FP-4

후원기관 소개 및 점심

초청강연 3 (Invited talk 3) UNIST 고현협 교수

구두 발표 FO-6 Fabrication, and Packaging Technologies

우수논문 시상 및 폐회

논문 No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Presenting Author	Organization
FP-4-13	MEMS 공정을 이용한 열식 공기질량 유량센서	김재건	정대웅	김재건	한국생산기술연구원
FP-4-14	Numerical Analysis for Nonlinearity Characteristics of MEMS Microphone	장홍석	신금재	장홍석	한국생산기술연구원
FP-4-15	Facile airbrush fabrication of carbon nanotube/metal-laminated structures for durable and power-efficient heating devices	김민욱	옥종걸	김민욱	서울과학기술대학교
FP-4-16	탄소나노튜브가 코팅된 다층 한지 기반 유연 촉각센서	이태훈	김종백	이태훈	연세대학교
FP-4-17	Fabrication of Strain Sensor based on Silver-Nanowires Bridge and Metal Micro Pattern	신명규	고종수	박동민	부산대학교
FP-4-18	Low-temperature fabrication using sacrificial layer release process for membrane gate field-effect-transistor combined with M3D	석영철	최리노	석영철	인하대학교
FP-4-19	접촉힘이 극대화된 구조를 가지는 4 W Dual-contact material MEMS 릴레이	김수본	윤준보	김수본	한국과학기술원
FP-4-20	In-situ visualization of membrane-less microfluidic redox flow battery using non-aqueous organic molecule by its unique colorimetry	박형주	김성재	박형주	서울대학교
FP-4-21	Research for improving the power of paper-based microfluidic enzymatic fuel cell	박노현	박노현	박노현	한양대학교
FP-4-22	SIB용 MOF기반 황화구리 전극의 탄소 코팅층 효과에 대한 연구	김일환	김일환	김일환	한국기계연구원
FP-4-23	Fabrication of PDMS Thin Film with 2D Grating Patterns	송재만	이봉재	송재만	한국과학기술원
FP-4-24	Improve the Performance of Thermoelectric Device by Utilizing Polydopamine Coated Composite Film-Evaporator Polydopamine	정량준	강현욱	정량준	전남대학교
FP-4-25	Structural Dimensions Depending on Light Intensity in a 3D Printing Method That Utilizes In-Situ Light as a Guide	임종경	김준원	임종경	포항공과대학교
FP-4-26	장시간 근 경직도 측정을 위한 AgNW 기반의 유연/신축 전극 제작	선강현	이동원	선강현	전남대학교
FP-4-27	3차원 형상을 가진 냉각 채널의 유량 변화에 따른 냉각 특성 분석	박주연	강현욱	박주연	전남대학교
FP-4-28	Thermo-pneumatic Micro Bellow Actuator using 3D Printed Soluble Mold	안성범	황용하	안성범	고려대학교
FP-4-29	하프파이프 모양의 금속 나노 그물 필름 기반의 유연 압력 센서	김승환	박인규	김승환	한국과학기술원
FP-4-30	Manufacturing of Carbon Nanotube-Embedded Conductive Polymer for Large Strain Detection	이가연	최정욱	이가연	영남대학교
FP-4-31	차원전환이 가능하고 재료 물성 구배를 갖는 외부 자극 반응형 위조방지 복합체	박준규	김태성	박준규	울산과학기술원
FP-4-32	Characterization of Stretchable Strain Sensor Depending on the Amount of Spray-Coated Carbon Nanotubes	왕뢰뢰	최정욱	왕뢰뢰	영남대학교
FP-4-33	소수성 방벽 패턴을 이용한 잉크젯 인쇄형 Ag 격자 구조 전극의 선풍 제어 기술	심성민	이상호	심성민	한국생산기술연구원
FP-4-34	Pneumatic Haptic Device for Mechanical and Thermal Display	이은혁	윤광석	이은혁	서강대학교
FP-4-35	Ink-jet Printing and Annealing Process of Quantum-Dot Film using Co-solvented Ink	조관현	조관현	조관현	한국생산기술연구원
FP-4-36	Artificial Perspiration Membrane by Programmed Deformation of Thermo-responsive Hydrogels	WITHDRAWN			
FP-4-37	Wireless, wearable pulse oximeter for continuous monitoring	송민수	김정현	송민수	광운대학교
FP-4-38	Fabrication and Characterization of Stretchable Heaters Using Cost-effective Metal Foils	하성훈	김종만	하성훈	부산대학교
FP-4-39	Effect of M13 concentration on strain-sensing performance of Pt/M13-based crack sensors	김강현	김종만	김강현	부산대학교
FP-4-40	Miniaturized Wearable Patch for Wireless EEG Monitoring	강성구	김정현	강성구	광운대학교



# 장시간 근 경직도 측정을 위한 AgNW 기반의 유연/신축 전극 제작

<sup>1</sup>선강현, <sup>1</sup>기영곤, <sup>1</sup>최혜진, <sup>1</sup>정윤진, <sup>1</sup>후천봉, <sup>1,2</sup>이동원\*  
<sup>1</sup>전남대학교 기계공학부, <sup>2</sup>전남대학교 차세대센서연구개발센터  
E-mail: mems@jnu.ac.kr

## Fabrication of AgNW-based Flexible and Stretchable Electrodes for Long-term Muscle Stiffness Measurement

<sup>1</sup>Gang-Hyeon Sun, <sup>1</sup>Young-gon Ki, <sup>1</sup>Hye-Jin Choi, <sup>1</sup>Yun-Jin Jeong, <sup>1</sup>Hou-Tianfeng, <sup>1,2</sup>Dong-Weon Lee\*

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Chonnam National University,

<sup>2</sup>Center for Next-Generation Sensor Research and Development, Chonnam National University

### Abstract

In this paper, we present a novel method for manufacturing of flexible electrodes used to measure muscle stiffness. The flexible electrodes are manufactured by coating AgNWs on the master mold and transferring them to the PDMS substrate. The flexible electrode features a very small change in electrical resistance even at up to 12 percent of the tensile force and the ability to release sweat. Impedance measurement using Bio-Impedance Analysis (BIA) method is proposed. It is also found that impedance decreases with muscle stiffness and that sensitivity is highest at the frequency of 1 kHz. It is expected that the grooved PDMS electrodes with AgNWs can be applied to wearable products such as electrostatic sensors, EMS (Electromyostimulation) equipment, portable body fat measuring devices, and to medical applications aimed at rehabilitation treatment.

Keywords: *Silver nanowire*(은나노와이어), *Flexible electrode*(유연전극), *Impedance*(임피던스), *Muscle Stiffness*(근육 경직)

### 1. 서론

현대인들은 기술의 발달로 인해 한 자세를 오랫동안 유지하는 생활 습관을 지니게 되었다. 특히나 바르지 않은 자세를 오랫동안 유지하는 것은 목, 어깨, 허리에 무리를 줘서 근 경직을 유발해 근육을 뻣뻣하게 만든다 [1]. 근 경직은 심한 경우 통증 및 운동기능 상실의 원인이 되기 때문에 근육의 기능이 약화되기 전에 근육의 경직을 인지할 수 있는 방법이 필요하며 근 경직의 정도를 측정, 진단을 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 그 중에서 근육의 전기적 변화를 측정한 근전도 센서 사용은 비침습적이며 일상생활에서 큰 불편함 없이 측정이 가능하다. 이에 착안하여 근 경직도를 정량적으로 확인할 수 있는 생체 임피던스 방법(Bio-Impedance Analysis; BIA) 방법을 채택하였다.

본 연구에서 임피던스 변화를 측정하여 근 경직을 확인하기 위해 높은 신축성을 갖는 AgNW를 생체적합성 및 유연성을 갖는 PDMS 위에 형성함으로써 AgNW 기반의 유연/신축 전극을 제작하였다. 또한,

장시간 측정시 피부에서 배출되는 수분으로 인하여 생체 신호의 감도가 낮아지는 문제를 해결하기 위해 유연 전극 상부에 micro-groove를 형성하여 수분 배출이 향상되도록 설계 및 제작함으로써 장시간 측정의 안정성을 확보하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 AgNW 기반의 유연 전극 제작

4 inch 실리콘 기판에 포토리소그래피 공정을 이용하여 3  $\mu\text{m}$  너비, 1.2  $\mu\text{m}$  높이의 groove 패턴을 형성하고, 다음으로 micro-groove 패턴 위에 AgNW를 스핀 코팅(4000rpm, 40sec) 하였다. 코팅된 AgNW 위에 PDMS를 스핀코팅(600rpm, 40sec)한 후 경화된 PDMS를 실리콘 기판에서 분리하여 AgNW가 부착된 120 $\mu\text{m}$  두께의 PDMS 전극을 제작하였다.

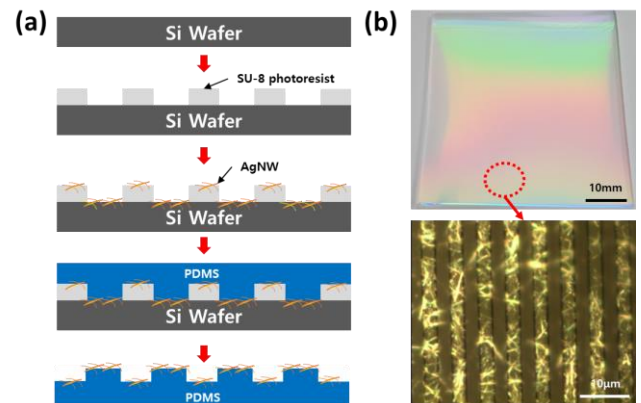


그림 1 (a) AgNW 기반의 micro-groove 패턴된 전극 제작 공정 순서도, (b) 제작된 전극의 광학 이미지.

#### 2.2 AgNW 기반의 유연 전극 특성 평가

제작된 AgNW 기반 유연전극은 인장시험기를 이용하여 strain (0~20%)에 따른 전극의 sheet resistance를 측정하였다. 측정 결과 0~10%의 strain 영역에서는 면저항의 변화가 낮은 반면, 10% 이상의 strain이 형성되는 경우 면저항이 급격히 증가함을 확인하였다. 이를 통해 제작된 AgNW 기반의 유연

전극은 10% 이내의 strain 이 형성되는 상황에서 안정적으로 생체 신호를 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

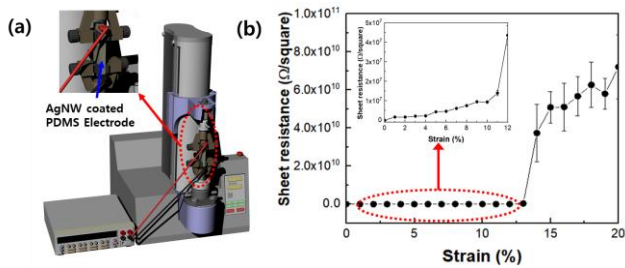


그림 2 (a) 인장에 따른 저항 변화 측정을 위한 실험 개략도, (b) 제작된 전극의 strain 에 따른 면저항.

BIA 방법을 사용하여 근 경직도를 측정하였다. 당일 도축된 소고기는 잔여 ATP(Adenosine triphosphate)에 의해 수축/이완이 일어난다. ATP 가 소모되며 발생하는 사후강직은 인체 근육의 경직을 모사할 수 있기 때문에 도축 후 5 시간이 지난 소고기(200g)을 이용하여 시간에 따른 임피던스 변화를 측정하여 근육의 경직을 확인하였다.

도축 직후의 소고기를 이용한 시간에 따른 임피던스 측정은 8 시간 동안 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 50kHz, 100kHz 총 5 개의 주파수로 5V 전압의 교류 전류를 인가하였다. 측정 결과 시간이 지날수록 모든 주파수 영역에서 임피던스가 감소하였다. 이는 사후강직이 진행되어 근질의 길이 감소 및 단면적이 증가하여 근 내부의 전기저항이 감소했기 때문이다 [2]. 또한 주파수에 따른 감도를 분석한 결과 1 kHz 의 주파수 영역에서 가장 감도가 높은 것으로 확인되었다.

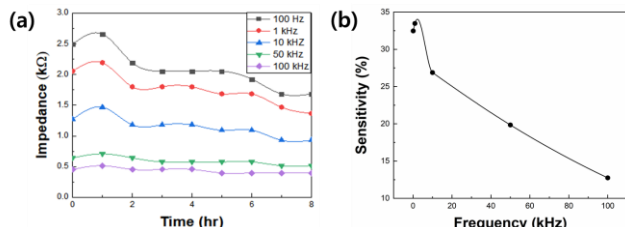


그림 3 (a) 시간에 따른 임피던스 변화, (b) 측정 주파수에 따른 감도.

추가적으로, 제작된 micro-groove patterned AgNW 기반 유연 전극의 수분 배출 효과는 실제 피부에 부착된 면에서 땀이 배출되는 환경을 모사하기 위해 다공성 PDMS[3]를 이용하였으며, 사람의 체온을 모사하기 위해 hot plate 를 이용하여 40°C 가열된 후 시간에 따른 탈이온수(DI-water)의 배출량을 측정하였다. 측정 결과 시간이 경과함에 따라서 수분의 배출량은 선형적으로 증가하였으며, 단위 시간당 평균 5 mg 의 수분이 배출됨을 확인하였다.

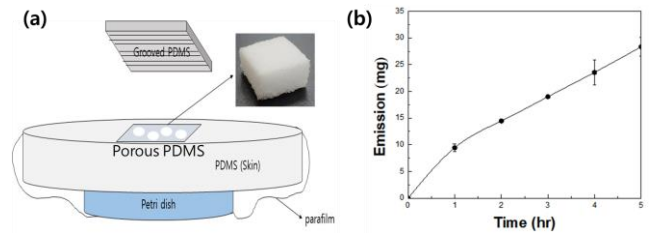


그림 4 (a) 수분 배출 실험 개략도, (b) 시간에 따른 수분 배출량.

### 3. 결론

본 연구에서는 근 경직도에 따른 임피던스 변화를 측정할 수 있는 AgNW 기반의 신축/유연 전극을 제작하였다. 유연전극의 제작은 AgNW 를 micro-groove patterned master mold 위에 스핀코팅 한 후, PDMS 에 전사하는 방법으로 제작하였으며, 0~20% 인장 시 면저항의 변화를 측정하여 전기적 성능을 평가하였다. 근 경직에 따른 임피던스 변화를 확인하기 위해 주파수에 따른 임피던스 변화와 감도를 확인하였다. 또한, micro-groove patterned AgNW 전극의 수분 배출 성능을 평가하였으며 단위 시간당 5 mg 의 수분이 효과적으로 배출됨을 확인하였다.

제작된 AgNW 기반의 신축/유연 전극은 근전도 센서, EMS(Electromyostimulation) 장비 및 휴대용 체지방 측정기 등의 착용성 제품과 재활 치료를 목적으로 하는 의료 분야와 같이 다양한 분야에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

This study was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.2017R1E1A1A01074550)

### 참고문헌

1. H. Ishikawa, T. Muraki, S. Morise, Y. Sekiguchi, N. Yamamoto, E. Itoi, S. -I. Izumi, Changes in stiffness of the dorsal scapular muscles before and after computer work: a comparison between individuals with and without neck and shoulder complaints, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 117, 179 (Jan. 2017)
2. M. Ohta, Y. Masuo, H. Kanehise, Y. Kwawkami, T. Fukunage, Study on the Application of the Bio-Electrical Impedance Method for the Estimation of Tendon Elongation, *Int. J. Sport Health Sci.*, 3, 296 (Jan. 2005)
3. S. -J. Choi, T. -H. Kwon, H. Im, D. -I. Moon, D. J. Baek, M. -L. Seol, J. P. Duarte, Y. -K. Choi, A Polydimethylsiloxane (PDMS) Sponge for the Selective Absorption of Oil from Water, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 3, 4552 (Nov. 2011)