

PEDOT:PSS기반 잉크젯 프린팅 스트레인 게이지의 제작

계지원^{1,2} · 한동철¹ · 신한재¹ · 염세혁¹ · 이왕훈^{1*}

Fabrication of Inkjet Printed Strain Gauge Using PEDOT:PSS

Ji Won Kye^{1,2}, Dong Cheul Han¹, Han Jae Shin¹, Se-hyuk Yeom¹, and Wanghoon Lee^{1*}

Abstract

This paper presents the Inkjet-printed strain gauge using PEDOT:PSS. The strain gauge (width 0.6 mm, length 20 mm, thickness 0.3 μm) was printed on the PET film using PEDOT:PSS ink. The resistance variation of the fabricated strain gauge was measured by the digital multi-meter with the displacement range of -4 to 10 mm. As the measured result, resistance variation ($\Delta R/R_0$) has approximately 0.75%, linearity of 99.87%. The fabricated strain gauge is expected to the various applications such as tape type pressure sensor, PMS (pressure mapping sensor), wearable devices.

Keywords: Ink-jet printing, PEDOT:PSS, Strain gauge, Resistance

1. 서 론

최근 유비쿼터스 시대로 변화됨에 따라 플렉시블(flexible) 디스플레이, 인공 전자피부, 종이 IC카드 등 경량화, 간편화, 휴대성 등의 강점을 가지고 인간생활에 쉽게 적용이 가능한 전자소자에 대한 개발의 중요성이 커지고 있다. 그 중 유연한 종이나 플라스틱은 가격이 싸며, 쉽게 구할 수 있고, 얇고 유연하며 기존의 금속이나 실리콘 기판에 비해 쉽게 사용하고 폐기할 수 있다는 장점이 있다. 이로 인해 종이나 플라스틱 기반의 전자장치에 대한 연구가 큰 관심을 받고 있으며, 유연성 기반의 트랜지스터, 배터리, 안테나, 센서, RFID, 터치패드가 연구되어왔다. 하지만 대부분 복잡한 공정으로 제작이 되거나, 위험한 액체 금속을 필요로 한다는 단점이 있다[1-5]. 인쇄전자(Printed electronics)란 프린팅 공정기법으로 만들어진 전자 소자 또는 전자 제품으

로, 고난도로 제조되는 기술이 아닌 저가의 기판 위에서 자동화된 공정으로 프린팅 되는 소자를 말하며, 잉크젯 프린팅과 같이 적은 비용으로 유연한 기판에 제작이 용이한 기술에 대한 관심이 높아지고 있다[6]. 높은 노광 설비비용, 복잡한 과정, 환경오염, 공정 중 발생하는 많은 양의 재료 손실 등의 문제점을 가지는 기존의 포토리소그래피 기술의 대체 공정이 요구되어 왔다[2]. 이에 반해, 잉크젯 프린팅 기술의 직접인쇄공정 방식은 프린팅 공정과 소결 공정만으로 구성되어 복잡한 공정 없이 패턴형성이 가능하여 시간이나 공정 비용 면에서도 효율적이고, 친환경적이다[2,7].

본 연구에서는 유연한 기판 위에 유기태양전지의 제작에 주로 사용되는 P형 전도성 고분자 물질인 PEDOT:PSS 잉크를 이용하여, 잉크젯 프린팅 기법으로 유연한 스트레인 게이지(strain gauge)를 개발하고, 소자의 특성을 확인했다.

2. 설계 및 제작

2.1 잉크젯 프린팅

잉크젯 프린팅 공정 기술은 100-120 μm 크기의 미세잉크방울을 원하는 위치에 패턴의 인쇄가 가능한 기술로 소량의 도포를 통해 재료의 낭비를 줄일 수 있는 비 접촉식 공정방식이다[8]. 본 연구에서는 센서의 패턴 제작을 위해 잉크젯 프린팅 기술 중 Piezoelectric 방식을 사용했다. 센서 패턴을 인쇄하기 위한 잉크 소재는 PEDOT:PSS(Heraeus社, CLEVIOS™ PH500), Ethylene glycol과 Ethanol을 혼합하여 제작했고, 잉크젯 프린터(Microfab

¹ 구미전자정보기술원(Gumi Electronics and Information Technology Research Institute)

Wearable Smart Device Technology Research Center, Gumi Electronics and Information Technology Research Institute, Cheomdangieop 1ro-17, Sandongmyeon, Gumi, Gyeongsangbuk-do 730-853, Korea

² 안동대학교 바이오전자공학과(School of Bio Electrical Engineering, Andong National University)

Andong National University, 1375 Gyeongdong-ro, Andong 760-749, Korea

*Corresponding author: whlee@geri.re.kr

(Received: Dec. 30, 2016, Revised: Jan. 24, 2017, Accepted: Jan. 26, 2017)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/bync/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

社, Jetlab4)를 이용하여 센서 패턴을 인쇄했다.

2.2 스트레인 게이지 설계 및 제작

2.2.1 감지 원리

PEDOT:PSS는 P타입의 전도성 고분자 물질로 반도체 폴리머체인인 PEDOT과 역셉터 역할을 하는 PSS의 양이온으로 구성되어 있다.

PEDOT간의 거리에 따라 PEDOT:PSS전체의 저항이 변화한다. 이를 이용하여 스트레인 게이지의 휨의 방향에 따른 PEDOT간의 거리 변화를 이용하여 방향 인식형 스트레인 게이지를 설계했다. Fig. 1과 같이 변형 감지체가 인장하는 방향으로 변형이 일어나면 변형 발생지점의 PEDOT간의 거리가 멀어져 전자의 이동이 원활하지 못해 저항이 증가한다. 하지만, 변형 감지체가 위와 반대로 수축하는 방향으로의 변형이 발생시 변형 발생지점의 PEDOT간의 거리가 줄어들어 전자의 이동이 원활해지면서 저항이 감소한다[9,10].

2.2.2 설계 및 제작

감지패턴의 인쇄를 위해 사용된 잉크젯 프린터는 50 μm크기의 노즐을 가지고 변형감지체를 형성했다. 이때, -18 V(600 Hz)의 인가전압, 2 mm/s의 속도로 분사했으며, 액적의 분사 간격(Drop space)은 40 μm로 최적화하여 Fig. 2와 같이 PEDOT:PSS 패턴을 2 mm의 길이로 PET필름 상에 도포하여 인쇄했다. 그리고, 시판 중인 Cu tape(adafruit 社, #1127)를 이용하여 신호추출용 전극을 형성했다. 또한, 소자의 탄성을 극대화하기 위하여 아크릴 기판(Acrylic substrate)을 접합하여 소자를 완성했다.

2.2.3 후열처리

전도성 고분자 물질 PEDOT:PSS는 후열처리 공정에 의해서 절연체인 PSS가 PEDOT:PSS 패턴 밖으로 빠져나가고, 전도성 PEDOT 입자의 접촉면적이 증가하여 전하의 이동 통로

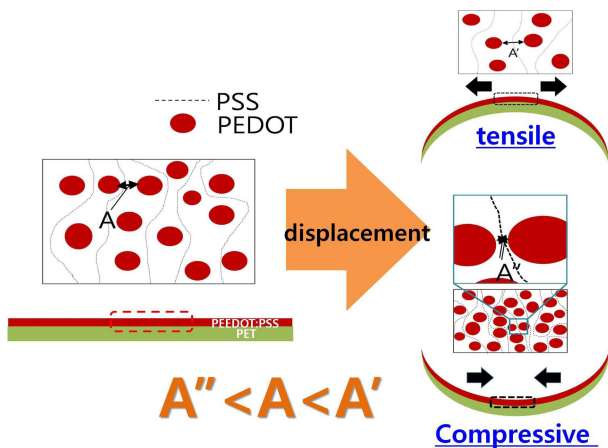


Fig. 1. Theory of flexible strain gauge.

가 잘 형성되어 전기 전도도가 크게 향상된다[11]. PEDOT:PSS 패턴을 후열처리한 후, 표면분석을 위해 정밀광학측정장비(NS3500, 나노스코프)를 이용하여 패턴의 표면형상변화를 관측한 결과, Fig. 3과 같이, 후열처리에 의해 낙타등구조(camel peaks)로 변형되는 것을 확인할 수 있었다[12]. 광학측정장비에 의해 PEDOT:PSS 패턴의 두께는 약 1.03 μm 로 측정되어졌다.

2.2.4 캡슐화

제작된 센서가 스트레인 게이지로 적용 시 습도 및 외부에 의한 영향을 최소화 하기 위하여 열융용형 접착제인 surlyn을 사용하여 Encapsulation처리를 했다. 제작된 스트레인 게이지 패턴 위에 surlyn을 위치 시킨 후 120°C, 에서 1분간의 열처리를 통해 센서에 외부로부터의 가스, 수분, 먼지 등의 침투로 인한 영향을 방지했다[8].

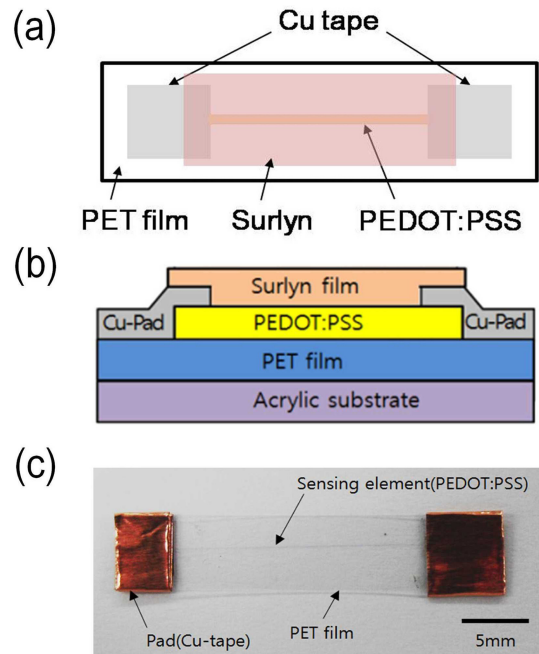


Fig. 2. Structure of flexible strain gauge. (a) Schematic diagram, (b) Cross sectional view, (c) Fabricated flexible strain gauge.

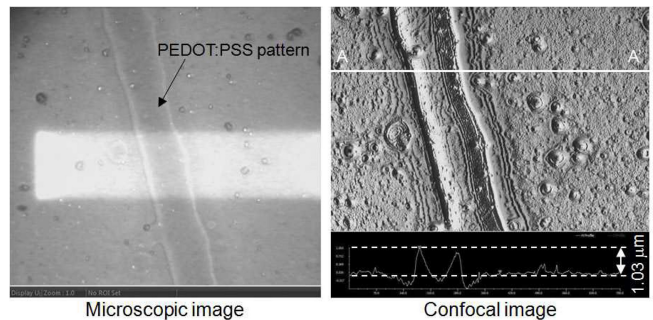


Fig. 3. Image of the fabricated inkjet printed strain gauge and depth of the printed pattern.

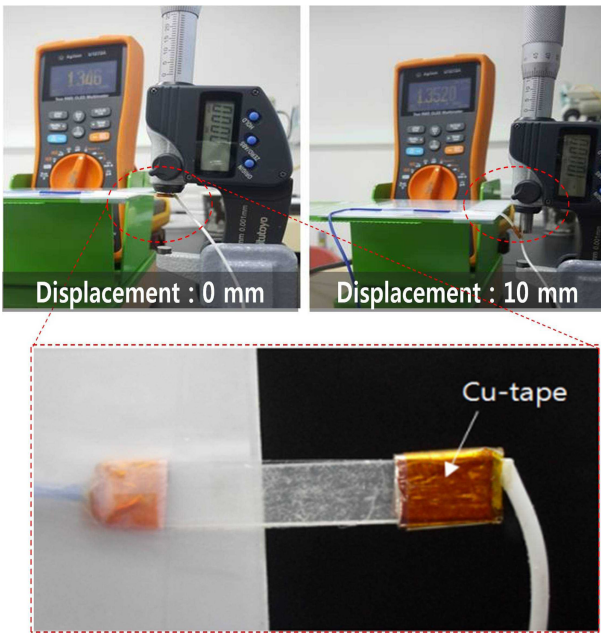


Fig. 4. Measurement process of flexible strain gauge.

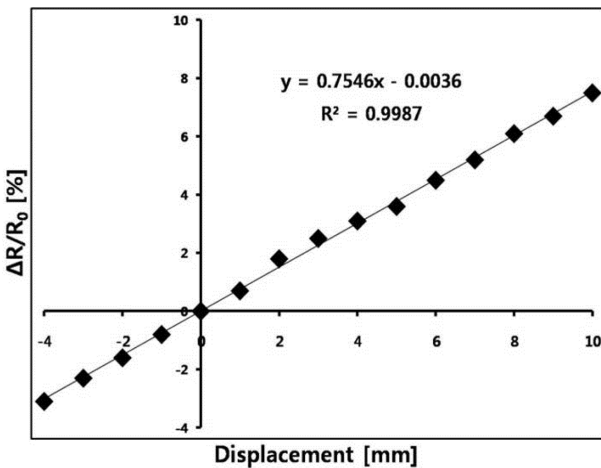


Fig. 5. Resistance variation of the strain gauge using PEDOT:PSS.

3. 결과 및 고찰

제작된 스트레인 게이지의 길이 변형에 따른 저항변화를 측정하기 위해 Fig. 4과 같이, 디지털 버니어 캘리퍼스를 이용하여 1 mm씩 변화를 주며 스트레인 게이지의 저항특성변화를 측정했다. 스트레인 게이지에 양(positive, +)의 방향으로 0 mm ~ 10 mm의 범위로 길이를 변화시키고, 음(negative, -)의 방향으로 0 mm ~ -4 mm까지 변화시킬 때의 스트레인 게이지의 출력 저항의 변화 특성을 관찰했다. Fig. 5에서 나타낸 것과 같이, 길이 변화의 기준점 (Displacement: 0 mm) 으로부터 양의 방향으로 증가하면 스트레인 게이지의 출력저항이 증가하고, 기준점으로부터 음의 방향으로 증가하면 저항이 감소하는 특성을 확인했

Table 1. Characteristics of the fabricated strain gauge.

| Sensing material | PEDOT:PSS |
|----------------------------|-----------------------|
| Substrate | PET/Acrylic substrate |
| Dimension (w × l × t) [mm] | 0.6 × 20 × 0.0003 |
| Sensitivity (ΔR / R0) | 0.75% |
| Linearity | 99.87% |

다. 이때, 제작된 스트레인 게이지의 길이 변화에 따른 저항변화율(ΔR/R₀)은 0.75%의 감도로 99.87%의 높은 선형성을 유지하며 변화하는 것을 확인했다. 따라서, 제작된 스트레인 게이지는 압력(힘)이 상부에서부터 전달되는 것인지 하부에서부터 전달되는 것인지를 구분할 수 있는 스트레인 게이지의 구현이 가능했다.

Table 1에 제작된 스트레인 게이지의 변형에 따른 특성을 요약했다.

4. 결 론

본 연구에서는 잉크젯 프린팅 기법을 이용하여 유연성을 가진 필름 위에 길이변형의 감지가 가능한 PEDOT:PSS의 패턴을 인쇄하여 스트레인 게이지를 제작했다. 제작된 스트레인 게이지는 PET필름을 기판으로 사용했으며, P형 유기반도체 재료인 PEDOT:PSS를 잉크화 하여 감지 패턴을 형성했다. 길이변형 특성 실험 시, 습도 및 외부환경의 영향을 최소화 하기 위해 밀봉하여 제작된 스트레인 게이지는 길이의 변화에 따라 저항변화율(ΔR/R₀)이 0.75% 변화하는 특성을 나타냈으며, 이때 99.87%의 높은 선형성을 확보하고 있어 스트레인 게이지로서 우수한 동작특성을 가지고 있다. 본 스트레인 게이지는 구부러지고 휘는 모양으로 유연성은 물론 비교적 저렴하고 간단한 공정기반의 신속한 소자 제작과 경량 및 소형의 제작이 가능하고 신호 처리 모듈의 추가를 통해 방향의 인식이 가능한 압력 · 유량 감지 시스템의 구현이 가능하며, 전자기기, 의료 · 바이오, 산업플랜트 등의 다양한 분야에서의 적용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신 · 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2016(0923-004194), 웨어러블 스마트 디바이스 상용화 지원센터 구축사업]

REFERENCES

[1] M. Jang, M. Y. Lee, J. H. Jung, and J. H. Oh, "Molecule-based high-performance sensors for wearable device applications", *polymer Science and Technology*, vol. 26, no. 4, pp. 290-298, 2015.

- [2] S. H. Eom and S. Lim, "Paper-based pattern switchable antenna using inkjet-printing technology", *JEES*, pp. 613-619, 2015.
- [3] T. Yun, S. Lee and S. Lim, "Inkjet-printed capacitive touch paper", *KICS*, vol.40, no. 5, pp. 799-805, 2015.
- [4] R. K. Kramer, C. Majidi, and R. J. Wood, "Wearable tactile keypad with stretchable artificial skin", *2011 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 1103-1107, May 2011.
- [5] D. P. Cotton, I. M. Graz, and S. P. Lacour, "A multi-functional capacitive sensor for stretchable electronic skins", *IEEE Sensors J.*, vol. 9, pp. 2008-2009, Dec. 2009.
- [6] 김성환, "인쇄 전자의 최신 기술 및 시장 동향", *KOSEN Reports*, 4, 2009.
- [7] Takeo Kawase, et al., "Inkjet printing of polymeric field-effect transistors and its applications", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 44, pp. 3649, Jun. 2005.
- [8] J. W. Kye, D. C. Han, H. J. Shin, H. G. Kim, and W. Lee, "Fabrication of flexible temperature & humidity sensor using inkjet-printing technology", *J. Sensor Sci. & Tech.*, Vol. 24, pp. 119-123, 2015.
- [9] M. Muraki, S. Takamatsu, K. Matsumoto, and I. Shimoyama, "Organic semiconductor based strain sensors for input system on flexible oleds", *904 MEMS 2008*, Tucson, AZ, USA, January 13-17, 2008.
- [10] S. Takamatsu, K. Matsumoto and I. Shimoyama, "Mechanically flexible and expandable display with conductive-polymer-coated nylon fabric", *140 MEMS 2008*, Tucson, AZ, USA, January 13-17, 2008.
- [11] J. H. Kim, Y. K. Seo, J. W. Han, J. Y. Oh, and Y. H. Kim, "Effect of solvent doping and post-treatment on the characteristics of PEDOT : PSS conducting polymer", *Appl. Chem. Eng.*, vol. 26, pp. 275-279, 2015.
- [12] W. Xiong, C. Liu and X. Zhang, "Inkjet printing of silver nano particles doped PEDOT:PSS thin film" *2012 IEEE Int. Conf. Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*, pp. 177-181, 2012.