

스트레처블 기판상에 산화물 기반의 광센서 제작

김무진*

강남대학교 전자공학전공 교수

Fabrication of an Oxide-based Optical Sensor on a Stretchable Substrate

Moojin Kim*

Professor, Department of Electronic Engineering, Kangnam University

요약 최근 전자소자는 플렉서블 기판상에 제작된 스마트폰이 출시되었으며, 스트레처블 한 전자소자의 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 실리콘 기반의 스트레처블한 소재를 만들어 이것을 기판으로 사용하여 산화물을 이용한 광센서 소자를 구현하여 평가하고자 한다. 이를 위해, 실리콘 기반의 용액성 고무를 이용하여 상온에서 잘 늘어나는 기판을 만들어 소재의 350% 연신율을 확인하였으며, 반사도, 투과도, 흡수도와 같은 광특성을 측정하였다. 다음으로 이러한 소재는 표면이 소수성을 나타내기 때문에 표면 세정 및 친수성으로 변화시키기 위하여 산소 기반의 플라즈마 표면 처리를 진행하였으며, 진공장비로 AZO(Aluminium Zinc Oxide) 기반의 산화막을 증착한 후 면봉을 이용하거나 메탈 마스트로 Ag 전극을 형성시켜 광센서를 완성하였다. 제작된 광전자소자는 빛을 조사했을 때와 하지 않았을 때의 전압에 따른 전류 변화를 분석하여 광에 의하여 생성된 캐리어들에 의한 광전류를 관찰하였으며, 벤딩 장비를 이용하여 폴딩에 따른 광센서소자 영향성을 추가 테스트하였다. 벤딩 테스트 전과 빛에 의해 생성되는 전류값 변화를 추가로 분석하였다. 향후 스트레처블 기판위에 늘어나는 반도체 물질 및 전극을 형성하여 폴딩(벤딩) 및 늘어나는 광소자를 집중적으로 연구할 계획이다.

키워드 : 스트레처블 소재, 광센서, AZO 산화막, Ag 전극, 폴딩(벤딩)

Abstract Recently, a smartphone manufactured on a flexible substrate has been released as an electronic device, and research on a stretchable electronic device is in progress. In this paper, a silicon-based stretchable material is made and used as a substrate to implement and evaluate an optical sensor device using oxide semiconductor. To this end, a substrate that stretches well at room temperature was made using a silicone-based solution rubber, and the elongation of 350% of the material was confirmed, and optical properties such as reflectivity, transmittance, and absorbance were measured. Next, since the surface of these materials is hydrophobic, oxygen-based plasma surface treatment was performed to clean the surface and change the surface to hydrophilicity. After depositing an AZO-based oxide film with vacuum equipment, an Ag electrode was formed using a cotton swab or a metal mast to complete the photosensor. The optoelectronic device analyzed the change in current according to the voltage when light was irradiated and when it was not, and the photocurrent caused by light was observed. In addition, the effect of the optical sensor according to the folding was additionally tested using a bending machine. In the future, we plan to intensively study folding (bending) and stretching optical devices by forming stretchable semiconductor materials and electrodes on stretchable substrates.

Key Words : Stretchable material, Optical sensor, AZO oxide film, Ag electrode, Folding (bending)

1. 서론

반도체는 도체와 부도체 사이에 있는 소재로, 열이나 빛에 의해 그 특성이 크게 변하기 때문에 다양한 분야에

사용되고 있다. 처음 반도체 재료로는 14족에 속하는 원소인 게르마늄(Ge: Germanium)이었다[1]. 전계가 인가되었을 때 캐리어인 전자나 정공의 움직이는 속도를 의미

This Research was Supported by Kangnam University Research Grants(2021).

*Corresponding Author : Moojin Kim(moojinkim7@kangnam.ac.kr)

Received August 30, 2022

Accepted December 20, 2022

Revised November 1, 2022

Published December 28, 2022

하는 이동도(Mobility)가 크다는 장점이 있으나 밴드갭(Bandgap)이 0.66eV로 작아서 상온에서도 반도체 내부에 생성되는 캐리어가 많기 때문에 누설전류가 커지며, Ge와 결합되는 절연체가 없기 때문에 소자 제작이 쉽지 않다. 이러한 게르마늄의 대체 원소로 실리콘이 있으며, 이동도는 Ge보다 작지만, 지구상에 상당히 많이 존재하고 밴드갭이 1.12eV로 상온에서 생성되는 누설전류도 10^{-13} A 이하로 작다[2]. 또한, 전자소자를 제작하기 위해 필요한 절연체인 실리콘 산화막(SiO₂: Silicon Dioxide)이 있어 다양한 분야에 적용할 수 있는 전자소자 제작이 용이하다[3,4]. 1950년에는 실리콘 기반의 Transistor, Resistor, Diode, Capacitor 등을 하나의 웨이퍼 상에 배치하는 집적회로(IC: Integrated Circuit)를 개발하였다. 오늘날에는 마이크로프로세서, Memory, 디지털 및 아날로그 로직, RF 회로들이 하나의 칩에 만들어지는 시스템 온 칩(SOC: System on Chip)이 생산되고 있다.

실리콘 기반의 반도체 기술은 웨이퍼라는 구조위에 제작하기 때문에 종이처럼 접고, 두리마리처럼 말거나 고무처럼 늘일 수 없다. 이러한 단점을 보완하기 위해서는 웨이퍼를 대체할 수 있는 기판 개발이 필요하다. 최근 전자소자에는 고내열성 폴리이미드라는 유기물 기판상에 구현되어 삼성전자의 Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)의 갤럭시 폴더, 플립이라는 제품명으로 출시되는 스마트 기기와 Fig. 1(c)의 LG디스플레이에서 제조된 Rollable TV라는 명으로 판매되는 디스플레이, Fig. 1(d)에서 보여주는 SID(The Society for Information Display) 등 전시회에 출품은 되었지만, 양산은 하지 않는 Rollable 스마트폰이 있다. 이처럼 삼성은 작지만 해상도가 높은 디스플레이 기술을 보유하고 있는 반면, LG는 대형 디스플레이 제작을 할 수 있다. 그 이유는 폴리이미드상에 형성된 비정질 실리콘을 다결정 폴리실리콘으로 변화시켜 박막 트랜지스터의 이동도를 높게 할 수 있는 백 플레인 기술과 OLED(Organic Light Emitting Diode) 소자를 형성하기 위한 FMM(Fine Metal Mask) 구현 기술을 삼성은 보유하고 있으며, LG디스플레이는 GIZO(갈륨, 인듐, 징크, 산소로 구성된 산화물 반도체)형성과 white OLED 증착을 할 수 있기 때문이다[5-7].

특히 산화물 반도체의 대표적인 물질로는 터치 센서의 전극으로 주로 사용되는 ITO(인듐, 주석, 산소로 구성된 반도체)가 있지만, 주성분인 인듐은 희토류이며 대부분이 중국에서 생산되므로 국산화를 위해서는 대체할 수 있는 소재가 필요하다. 이를 위해 CNT(Carbon Nano-Tube),

Graphene 등 탄소 기반의 물질이나 ZnO(Zinc Oxide), AZO(Aluminium Zinc Oxide)와 같은 물질에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다[8-11].



Fig. 1. Images of (a) Samsung Electronics' foldable, b) Z-Flip smartphones, (c) LG Display's rollable TVs, (d) smartphones

또한, 플렉서블 전자소자의 다음 기술은 늘어거나 줄일 수 있는 스트레처블 전자소자이며, 소재에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 스트레처블 기판상에 AZO 기반의 광센서 소자를 제작하여 특성을 파악해 보고자 한다. 스트레처블 기판은 상온에서 매우 쉽게 만들 수 있는 방법을 제안하였으며, 연구진이 산화물 반도체 AZO를 선택한 이유는 이미 OHP 필름상에 광센서를 구현한 기술을 보유하고 있기 때문이다[12].

2. 선행연구

산화물 반도체의 대표적인 물질로는 서론에서 언급하였던 GIZO로 이 물질을 이용하여 박막 트랜지스터 구동 회로를 형성시켜 OLED 소자를 동작하면 디스플레이가

된다. 또한, 터치패널의 투명 전도막으로 사용되고 있는 ITO가 있다[8].



Fig. 2. Image of stretchable AMOLED display paper made by Samsung Display

삼성디스플레이는 2017년 미국 LA 컨벤션 센터에서 개최하는 디스플레이전문학회 'SID' 행사에서 Fig. 2에서와 같이 화면이 자유자재로 늘어나는 9.1인치 스트레처블 AMOLED 디스플레이를 구현하였다. 전시된 제품은 화면을 위에서 누르면, 고무풍선을 누른 것처럼 화면이 움푹 들어갔다 다시 제자리를 찾아가며 본래의 평평한 형태로 돌아온다. 스트레처블 디스플레이는 신축성이 있어 잡아당기면 고무줄처럼 늘어나고 놓으면 다시 원래 상태로 줄어드는 것이 특징이며, 이 디스플레이는 플렉서블 AMOLED 기술의 종착역이라 불릴 정도로 구현 난이도가 매우 높다. 학계에선 기판과 인터커넥션 등 패널용 부품 소재 외 생산 공정 장비 기술이 빠르게 확보될 수 있다면 2025년에는 스트레처블 디스플레이의 상용화가 가능할 것이라고 전망하고 있지만, 현재 그 가능성은 희박하다 판단된다. 스트레처블 소재의 경우 기판의 휘어짐과 변형에 대해 충분한 신축성 확보가 무엇보다 중요한 만큼 이와 같은 내구성 문제를 평가해야 하므로 제품 출시에는 상당한 시간이 소요될 것이기 때문이다. 현재 늘어나는 신축성 재료로는 3%이내의 stretchability를 가지는 PET(Polyethylene Terephthalate)를 비롯하여 PDMS (Polydimethyl Siloxane), PU(Polyurethane)가 대표적이며, 엘라스토머(elastomer, 탄성중합체-고무와 같은 성질을 지닌 물질)도 사용될 수 있다.

3. 연구방법 및 결과

3.1 스트레처블 기판 제작 및 기계적, 광학적 물성 분석

스트레처블 기판상에 산화물 반도체 AZO를 기반으로 한 광센서를 제작하기 위한 공정 순서는 다음과 같다. 먼저, 잘 늘어날 수 있는 물질로 선택한 소재는 Fig. 3에서

처럼 우수한 접착 및 절연특성을 나타내는 다우에서 개발된 실리콘 기반의 용액성 고무이다. 이 물질은 흐름성이 좋아 전기 및 전자 분야에서 부식을 막기 위한 실링(Sealing), 방수, 진동, 기계적 충격 흡수에 사용되는 소재이다.



Fig. 3. Silicone-based solution rubber developed by dow

Fig. 4(a)와 같이 소재를 평평한 소수성 물질위에 용액성 실리콘 고무를 2ml 정도 짜낸 후 동일한 소수성 물질로 덮은 다음 10cm × 10cm 크기의 플라스틱 판을 놓는다. 이 위에 3kg의 추를 약 1분 정도 두어 용액이 균일하게 퍼지도록 한다. 다음 추와 플라스틱 판을 제거하고 72 시간 동안 상온(Room Temp.)에서 유지한다. 그리고, 위에 덮은 소수성 물질을 제거하고, 소재 분석 및 광센서 소자를 제작을 목적으로 2.5cm × 2.5cm 크기의 정사각형으로 자르면, Fig. 4(b)에서와 같이 만들어진다. 마지막으로 스트레처블 기판으로 사용될 소재를 아래의 소수성 물질로부터 탈착하면 기판은 완성된다. 탈착 과정 및 탈착된 기판을 Fig. 4(c)와 4(d)에 보여준다.

스트레처블 특성 분석을 위해 소재를 잡아당겨 늘어 끊어질 때까지 작용된 힘과 변형된 길이를 의미하는 연신율(Elongation)을 Fig. 5와 같은 방법으로 측정하였다. 연신율의 정의는 길이 L_0 의 길이를 가진 소재를 위아래로 힘을 가하여 길이가 ΔL 이 되었을 때 늘이기 전 길이 L_0 로 나눴을 때의 %를 의미하며, 결과는 약 3배이상 늘어나는 350%의 결과를 확인하였다. 다음으로 기판을 광센서로 사용하기 위하여 입사된 빛의 투과 및 반사되는 정도를 의미하는 투과도 및 반사도와 물질이 빛을 흡수하는 흡수도, 즉 광특성에 대해 분석(Fig. 6)하였다.

반투명한 소재 때문에 투과도는 약 350nm에서 가장 높은 30% 정도의 값을 나타내었으며, 반사도는 측정된 모든 파장영역에서 20%보다 낮은 값을 보였다. 반면, 흡수도는 235nm에서 95%로 매우 높았는데, 일반적으로

짧은 파장의 빛은 에너지가 크기 때문에 흡수도가 높다. 하지만, 250nm에서 약 350nm까지는 감소하지만, 350nm 이상에서는 증가하는 경향을 보이며, 전반적으로 흡수도가 매우 높음을 알 수 있다. 이러한 특성은 적용되는 광전 자소자에 적합하도록 추가 연구를 진행해야 한다.

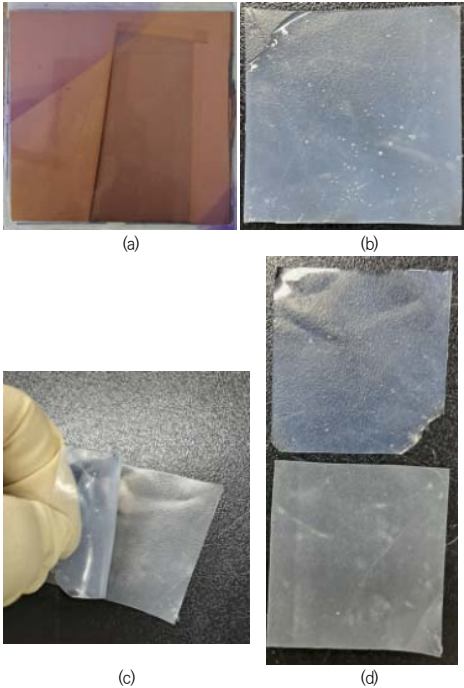


Fig. 4. (a) Image of squeezing a solution silicone rubber on a hydrophobic material and covering it with the same hydrophobic material and then covering a square-shaped plastic plate, (b) Photo of removing the plastic plate and hydrophobic material, (c) Image showing the process of detaching the stretchable material, (d) Photo of the fabricated substrate (top) and hydrophobic material (bottom)

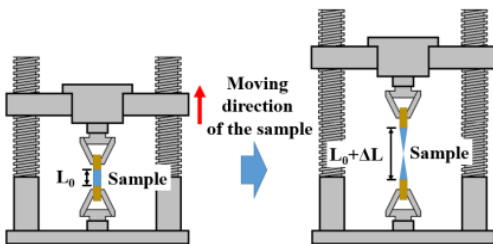


Fig. 5. Equipment for measuring elongation of stretchable materials

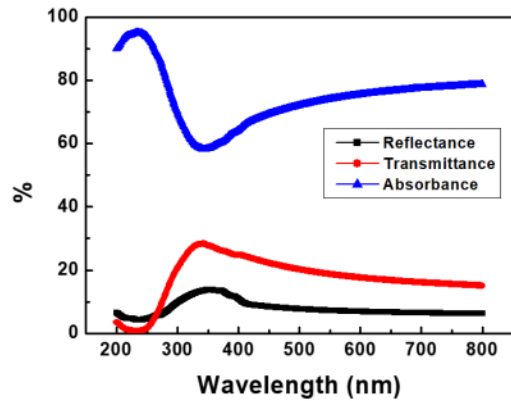


Fig. 6. Absorption, transmittance and reflectance spectrum of stretchable substrates

3.2 산화물 기반의 광센서 제작 및 특성 평가

3.1절에서 제작된 스트레처블 기반 소재상에 전자소 자로의 적용 가능성을 평가하기 위하여 산화물 기반의 광 센서 소자를 제작하였으며, 그 공정 과정은 다음과 같다. 기판 표면에 친수성인 AZO 산화물을 형성하기 위해서는 스트레처블 소재가 친수성 성질을 나타내야 한다. 이를 확인하기 위하여 표면에 한 방울의 물을 떨어뜨려 물방울 이 기판과 접촉하는 각도를 Fig. 7(a)에서와 같이 접촉각 측정기로 관찰하였으며 약 80도로 측정되었다. 이는 기 판 표면이 소수성임을 의미하므로 친수성 및 먼지 등 세 정을 위해 상압플라즈마 장비에 아르곤과 산소를 공급하 여 산소 플라즈마를 발생시켜 기판 표면 처리를 진행하였 다[13, 14]. 공정 조건은 상온에서 100W의 전력으로 약 30초 정도 진행하며, 샘플과 플라즈마를 발생시키는 헤 드와의 간격은 5mm로 유지하였고, 접촉각을 측정한 결 과는 Fig. 7(b)와 같다. 물이 표면에 뭉치지 않고 퍼져 접 촉각 측정이 불가능하였으며, 이는 친수성으로 성질이 변 하였다는 것을 의미한다[15].

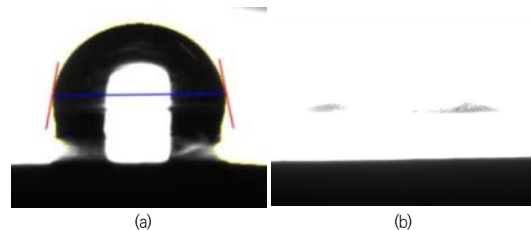


Fig. 7. Image of contact angle measurement of stretchable substrate (a) before, (b) after plasma treatment

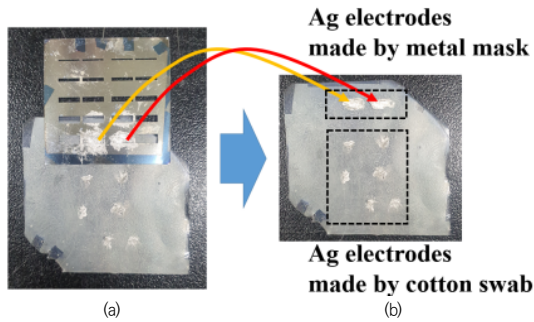


Fig. 8. (a) Image of the resistive electrode formed by applying Ag paste on a cotton swab to the desired area or using a metal mask, (b) Fabricated optical sensor

이러한 표면 상태를 가진 샘플상에 진공 상태에서 막을 형성하는 sputter 장비로 RF 파워 100W, Ar 가스를 공급하여, 압력 10^{-3} Torr 정도로 유지되는 챔버 분위기에서 AZO 산화물을 초당 1\AA 속도로 700초 동안 진행하여 700\AA 두께의 반도체 막을 증착하였다. 마지막으로 광센서의 전기적인 동작을 측정 및 분석할 수 있도록 Ag paste를 면봉에 묻혀 원하는 영역에 바르거나 메탈 마스크를 이용한 방법으로 저항성 전극을 형성(Fig. 8(a))하면 광센서 소자가 완성(Fig. 8(b))된다.

광전자소자는 메탈 마스크에 형성된 2개의 Ag 전극으로 외부에서 전압을 -10V 에서 10V 까지 인가하여 전류 변화를 probe station으로 데이터화 하였으며 결과 그래프가 Fig. 9(a)의 검은색 라인이다. AZO의 전도대 가장 낮은 에너지와 가전자대역의 가장 높은 에너지 차이를 의미하는 bandgap은 3.37eV 로 실리콘의 1.12eV 보다 크기 때문에 상온에서 생성되는 캐리어에 의한 전류값(Dark Current: 암전류로 불림)은 비교적 작다. 광센서로서의 동작 가능성은 빛을 조사하여 전압에 따른 전류 변화 추이를 통해 검증할 수 있으며 그 결과는 Fig. 9(a)의 빨간색 선이다. 전류데이터는 0V 를 기준으로 좌우 비대칭으로 이는 전극의 모양에 의한 것이다. 빛에 의해 생성되는 전류는 빛을 조사한 값에서 암전류 값의 차이로 표현되며, 그 결과는 Fig. 9(b)이다. 음의 전압에서는 광전류가 생성되지만, 양전압에서는 광에 의하여 생성된 전류가 큰 산포값 때문에 관찰되지 않는다. 일반적으로 끝부분이 뾰족한 Probe tip을 Ag 전극에 접촉할 때 강한 힘으로 접촉하는데, 스트레처블한 소재의 경우 rigid한 전극에 crack이 생기거나 심하면 tip이 전극을 뚫고 들어가 측정이 불가능할 수 있어 적당한 압력에 의해 tip과 산화

막이 접합하게 된다. 이러한 경우 큰 접촉 저항이 발생하므로 산포에 영향을 준다. 따라서, 향후 스트레처블한 소재를 이용한 전자소자를 개발할 때 측정 장비 개선이 필요하다.

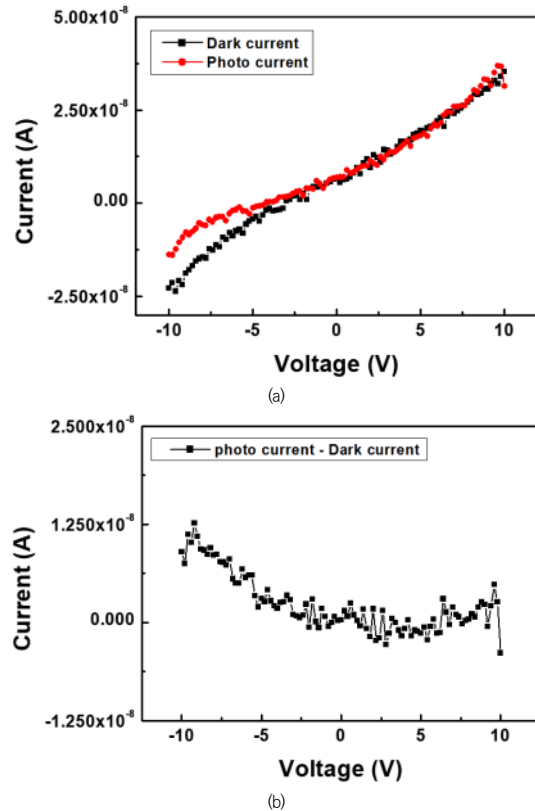


Fig. 9. (a) Current change according to the voltage before and after light irradiation of the fabricated device, (b) Difference in current value before and after light irradiation measured in (a), that is, photocurrent generated by light

스트레처블한 기판상에 구현된 광센서의 폴딩에 따른 소자 특성을 평가하고자 Fig. 10(a)와 같은 장비에 제작된 소자를 고정하여 곡률반경 0.3mm 까지 반복적으로 10,000번 벤딩 후 광센서의 광조사 전후의 전압-전류값을 재측정하여 그 결과를 Fig 10(b)에 나타내었다.

광조사 전후의 전류 변화가 벤딩 테스트 전(Fig. 9)보다 매우 작아졌으며, 또한, 저항(전압 변화(ΔV))에 따른 전류 변화(ΔI) 비율이 증가한 것이 관찰된다. 벤딩 테스트 산화막에 발생하는 스트레스(Stress or Strain)에 의

한 것으로, 이러한 현상은 스트레처를 소재상에 AZO 산화물 기반의 광센서를 제작할 때 해결해야 할 문제이다.

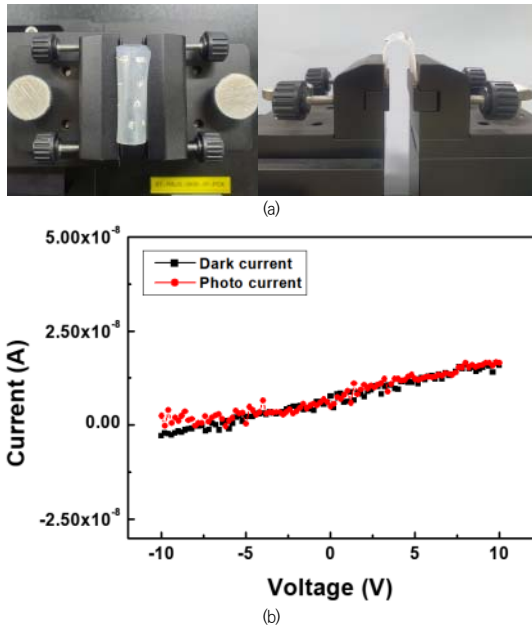


Fig. 10. (a) Equipment for evaluating device characteristics according to the folding of an optical sensor implemented on a stretchable substrate, (b) Re-measurement result of voltage-current values before and after light irradiation of the optical sensor after bending test.

스트레처블 소재이기 때문에 늘이거나 줄이는 평가가 추가로 진행되어야 하지만, 광센서 반도체로 적용된 산화물과 Ag 전극은 늘이거나 줄어드는 물질이 아니기 때문에 평가가 불가능하다. 향후 스트레처를 가능한 반도체 및 전극을 개발하는 것이 본 연구진의 다음 연구 주제다.

4. 결론

실리콘 기반의 스트레처블한 소재를 만들어 이것을 기판으로 사용하였으며, 여기에 산화물을 이용한 광센서 소자를 제작하여 평가하였다.

먼저, 실리콘 기반의 용액성 고무를 이용하여 상온에서 잘 늘어나는 기판을 구현하여 350% 연신율을 확인하였으며, 투과도나 반사도 보다 흡수도가 상당히 높은 물질이었다. 이러한 소재는 표면이 소수성 특성을 나타냈기

때문에 광센서를 제작하기 위하여 표면 세정 및 친수성으로 변화시키기 위하여 산소 기반의 플라즈마 표면 처리를 진행하였으며, 진공장비로 AZO 반도체 물질을 증착한 후 면봉을 이용하거나 메탈 마스트로 Ag 전극을 형성시켰다.

전기적인 물성, 즉 광센서로의 가능성을 평가하기 위하여 광조사 전후의 전압에 따른 전류 변화를 관찰하였으며 형성된 Ag 전극의 비대칭성으로, 전극과 산화막 사이의 저항값이 달라져 (-) 전압에서만 광에 의한 전류 변화가 확인되었다. 벤딩 장비로 폴딩에 따른 광센서 소자 영향성을 테스트하였으며, 벤딩 테스트 전보다 빛에 의해 생성되는 전류값 변화가 상당히 감소하였다. 이는 벤딩에 의해 산화막 스트레스(Stress or Strain)가 높아져 저항이 증가하였기 때문이다. 이러한 현상은 스트레처를 소재상에 AZO 산화물 기반의 광센서를 제작할 때 개선해야 하는 중요한 이슈이다.

향후 스트레처를 기판위에 늘어나는 반도체 물질 및 전극을 형성하여 폴딩(벤딩) 및 늘어나는 광소자 연구를 진행할 계획이다.

REFERENCES

- [1] K. H. Shim (2004). Two Dimensional Boron Doping Properties in SiGe Semiconductor Epitaxial Layers Grown by Reduced Pressure Chemical Vapor Deposition. *Journal of the Korean institute of electronic material engineers*, 17(12), 1301-1307. DOI : 10.4313/JKEM.2004.17.12.1301
- [2] A. N. Thiessen, M. Ha, R. W. Hooper, H. Yu, A. O. Oliynyk, J. G. C. Veinot & V. K. Michaelis (2019). Silicon Nanoparticles: Are They Crystalline from the Core to the Surface?. *Chemistry of Materials*, 31(3), 678-688. DOI : 10.1021/acs.chemmater.8b03074
- [3] D. Arl, V. Rogé, N. Adjeroud, B. R. Pistillo, M. Sarr, N. Bahlawane & D. Lenoble (2020). SiO₂ thin film growth through a pure atomic layer deposition technique at room temperature. *RSC Advances*, 10(31), 18073-18081. DOI : 10.1039/D0RA01602K
- [4] W. Zhu, G. Zheng, S. Cao, & H. He (2018). Thermal conductivity of amorphous SiO₂ thin film: A molecular dynamics study. *Scientific Reports*, 8, 10537-1-10537-9. DOI : 10.1038/s41598-018-28925-6
- [5] K. B. Kim, J. P. Lee, M. J. Kim & Y. S. Min (2019). Characteristics of Excimer Laser-Annealed Polycrystalline Silicon on Polymer layers. *Journal of*

- Convergence for Information Technology*, 9(3), 75-81. DOI : 10.22156/CS4SMB.2019.9.3.075
- [6] M. J. Kim & G. H. Jin (2009). ITO/AlNdN/Al contact process for active matrix OLED displays. *Electronics Letters*, 45(8), 421-423. DOI : 10.1049/el.2009.0037
- [7] G. H. Jin, J. H. Cho, W. P. Lee, Y. G. Mo, H. D. Kim, S. S. Kim, M. J. Kim & J. H. Song (2011). Simple Fabrication of a Three-Dimensional CMOS Inverter Using p-Type Poly-Si and n-Type Amorphous Ga-In-Zn-O Thin-Film Transistors. *IEEE Electron Device Letters*, 32(9), 1236-1238. DOI : 10.1109/LED.2011.2161258
- [8] N. Ren, J. Zhu & S. Ban (2017). Electrical Properties of ITO/Ag/ITO Conducting Transparent Thin Films. *AIP ADVANCES*, 7(5), 055009-1-055009-7. DOI : 10.1063/1.4982919
- [9] M. Sianipar, S. H. Kim, Khoiruddin, F. Iskandar & I. G. Wenten (2017). Functionalized carbon nanotube (CNT) membrane: progress and challenges. *RSC Advances*, 7, 51175-51198. DOI : 10.1039/C7RA08570B
- [10] A. K. Geim & K. S. Novoslov (2007). The rise of graphene. *Nature materials*, 6, 183-191. DOI : 10.1038/nmat1849
- [11] H.-L. Shen, H. Zhang, L-F Lu, F. Jiang & C. Yang (2010). Preparation and properties of AZO thin films on different substrates. *Progress in Natural Science: Materials International*, 20, 44-48. DOI : 10.1016/S1002-0071(12)60005-7
- [12] K. B. Kim, J. P. Lee & M. J. Kim (2020). Optical and electrical properties of AZO thin films deposited on OHP films. *Journal of Convergence for Information Technology*, 10(9), 28-34. DOI : 10.22156/CS4SMB.2020.10.09.028
- [13] M. J. Kim (2020). Atmospheric Pressure Plasma Etching Technology for Forming Circular Holes in Perovskite Semiconductor Materials. *Journal of Convergence for Information Technology*, 11(2), 10-15. DOI : 10.22156/CS4SMB.2021.11.02.010
- [14] K. B. Kim, J. P. Lee & M. J. Kim (2020). Effect of Perovskite Surface Treatment Using Oxygen Atmospheric Pressure Plasma. *Journal of Convergence for Information Technology*, 11(6), 146-153. DOI : 10.22156/CS4SMB.2021.11.06.146
- [15] K. B. Kim, J. P. Lee & M. J. Kim (2020). Characteristics by deposition and heat treatment of Cr and Al thin film on stainless steel. *Journal of Convergence for Information Technology*, 11(3), 167-173. DOI : 10.22156/CS4SMB.2021.11.03.167

김 무 진(Kim, Moojin)

[정회원]



- 2005년 2월 : 포항공과대학교 전기전자공학과(공학박사)
- 2005년 2월~2012년 8월 : 삼성디스플레이(책임연구원)
- 2012년 8월~2015년 3월 : 포스코(책임연구원)
- 2015년 4월~2020년 2월: 중원대학교 전기전자공학전공 교수
- 2020년 3월~현재 : 강남대학교 ICT융합공학부 전자공학 전공 교수
- 관심분야 : Semiconductor, Solar Cell, Display, Laser
- E-Mail : moojinkim7@kangnam.ac.kr