

## 상압플라즈마 공정을 이용한 Ti 증착 연구

김경보  
인하공업전문대학 금속재료과 교수

### Ti Deposition using Atmospheric Pressure Plasma Technology

Kyoung-Bo Kim  
Professor, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Inha Technical College

**요약** 본 논문에서는 광센서의 주요 구성요소인 도체를 상압플라즈마 공정 기술을 이용하여 티타늄(Ti: Titanium) 박막을 형성하고자 하였다. 이를 위해 기존의 상압플라즈마 장비를 개조하였으며, CF<sub>4</sub> 가스를 이용하여 sputter용 4인치 크기의 Ti 타겟을 식각하여 그 부산물이 글라스 소재의 샘플에 코팅되는 방법을 이용하였다. 이러한 부산물이 약 2cm까지 형성되었으며, 색깔에 따라 총 15영역으로 구분할 수 있었다. SEM(Scanning Electron Microscopy) 및 EDS(Energy Dispersive Spectrometer), 4-point probe 장비를 이용하여 표면 형상 및 구성 원소를 분석하였으며, 또한, 전기적인 특성을 측정하였다. 증착률 및 Ti 비율을 고려한다면, 타겟에서 약 4.5mm에서 5mm 정도에 샘플을 위치시켜 코팅하면 전체적으로 균일한 박막이 형성되지만, 이 박막에 상당량의 플루오린이 함유되어 있어 박막의 전기적인 특성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 따라서 플루오린을 제거하거나 증착시 최소화하는 방안에 대해 추가 실험 및 연구를 진행해야 할 것이다.

**주제어** : 광센서, 상압플라즈마, 티타늄, CF<sub>4</sub> 가스, 플루오린

**Abstract** In this paper, it was attempted to form a titanium (Ti: Titanium) thin film using the atmospheric pressure plasma process technology for the conductor, which is the main component of the optical sensor. The atmospheric plasma equipment was remodeled. A 4-inch Ti target for sputter was etched using CF<sub>4</sub> gas, and the by-product was coated on a glass sample. These by-products were formed up to about 2 cm, and could be divided into 15 areas according to color. Surface shape and constituent elements were analyzed using scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectrometer (EDS), respectively. Electrical properties using 4-point probe equipment were also measured. If the process is performed by positioning the sample at about 4.5 mm to 5 mm from the target, a uniform Ti thin film will be deposited. However, it was found that the thin film contained a significant amount of fluorine, which greatly affects the electrical properties of the thin film. Therefore, additional experiments and studies should be performed to remove or minimize fluorine during deposition.

**Key Words** : Optical sensor, Atmospheric pressure plasma, Titanium, CF<sub>4</sub> gas, Fluorine

\*This work was supported by INHA TECHNICAL COLLEGE Research Grant in 2021.

Corresponding Author : Kyoung-Bo Kim (kbkim@inhac.ac.kr)

Received December 26, 2021

Revised January 20, 2022

Accepted February 20, 2022

Published February 28, 2022

## 1. 서론

4차 혁명이 도래하여 다양한 분야에 적용이 진행되고 있으며, 이러한 기술의 기반으로 인공지능(AI: Artificial Intelligence), 드론, 가상현실(VR: Virtual Reality), 증강현실(AR: Augmented Reality), 5G 통신 등이 있으며, 이는 사물간에 서로 통신을 하는 사물인터넷(IoT: Internet of Things)가 중요한 기술로 사용되고 있다. 이러한 사물인터넷은 크게 3가지로 나누어지는데, 사물 주변의 환경 정보를 전기적 신호로 변환시켜주는 센서(Sensor), 이렇게 발생된 전기적 신호를 물리적 신호로 변환시켜주는 구동기(Actuator), 이러한 신호를 주고 받기 위한 유무선 통신 모듈로 구분할 수 있다. 이중에서 최근 많은 연구가 진행되고 있는 것으로 센서가 있다[1-3]. 이러한 센서 시스템에는 전력을 공급해줄 수 있는 이차전지나 배터리와 같은 파워 모듈과 함께 구성된다. 1960년까지는 검출기(Detector)로 사용되었으며, 이후 센서라는 단어가 나타나기 시작하였고, 1975년에 비약적으로 센서라는 단어가 상용화되었다. 센서에는 인간의 청각, 촉각, 후각, 미각, 시각과 관련되어 있으며, 먼저 청각과 관련된 압력과 청각센서가 있으며, 촉각과 연관된 온도센서, 후각에는 가스센서, 미각에는 이온센서가 사용된다. 마지막으로 시각에는 대표적인 것으로 광전효과(Photoelectric effect)와 연관된 광센서(Optical sensor)가 있다[3,4].

이러한 센서의 특성으로는 센서의 입력에 대한 출력의 비율인 감도(Sensitivity), 입력과 출력 사이의 지연을 정의하는 응답속도(Response time), 광변화에만 반응하는 선택성(Selectivity), 장기간 사용가능한 내구성(Durability), 신호대 잡음비를 향상시킨 신호대 잡음비(SNR: Signal to noise ratio)가 있다.

이러한 광센서는 비접촉으로 검출이 가능하고, 검출거리가 길며, 응답시간이 짧고 수광부의 넓이와 굽기를 자유로이 설정하고 높은 정도의 SNR을 구현할 수 있으나 시스템 구성품인 렌즈면의 먼지나 유분에 의해 동작이 방해받으며 외란광에 의한 영향성을 고려하여야 한다.

이러한 광센서를 구성하는 물질은 3가지로 분류된다. 먼저 전류를 흐르지 않도록 하는 절연체(Insulator)로 산화막(SiO<sub>2</sub>), 산화알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 또는 질화막(SiN<sub>x</sub>)가 대표적이다[5-8]. 이러한 소재들은 oxidation 방법

이나 CVD(Chemical Vapor Deposition)라는 진공 기반의 공정기술로 형성시킬 수 있다.

다음으로 광센서에서 활성층으로 작용하는 반도체(Semiconductor)로 가장 대표적인 물질로는 실리콘(Si: Silicon)이 있으며, 이 소재는 캐리어(Carrier: 전자나 정공을 명명함)의 이동도가 크기 때문에 시스템 반도체나 메모리의 주요 물질로 사용되고 있으나 간접 반도체 특성 때문에 광효율이 낮아서 광전자 소자에 적용하기 위해서는 보다 높은 광전 효율을 얻을 수 있는 반도체 물질을 요구한다. 이러한 요구로 3족 원소와 5족 원소가 결합한 GaAs(Gallium Arsenide), GaP(Gallium Phosphate), InP(Indium Phosphate)나 2족 원소와 6족 원소가 합쳐진 CdS(Cadmium Sulfide), CdTe(Cadmium Telluride)와 CIGS(Copper Indium Gallium Selenium) 4가지 서로 다른 원소가 결합한 화합물 반도체가 있으며, 광전자 분야에 적용되고 있다. 최근 유기물과 같은 고분자 반도체 물질에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며, 이러한 고분자의 광학적, 전기적, 화학적 특성의 우수한 재료가 연구되어 논문으로 발표되고 있다. 대표적인 물질로 상압에서 코팅이 가능한 페로브스카이트가 있으며, 이 소재는 광학, 특히 태양전지 분야에서 많이 연구되고 있다. 본 연구진은 광센서에 적합한 페로브스카이트 박막 공정 및 상압 또는 진공분위기에서 이 물질을 식각할 수 있는 기술을 확보하였다[9-12].

이러한 반도체에 외부에서 캐리어들을 주입하거나 생성된 캐리어들을 외부로 추출할 때 필요한 물질이 금속, 즉 도체이다. 반도체에서 가장 많이 연구되고 실제로 적용되고 있는 물질은 알루미늄(Al: Aluminium)이다[13,14]. 우수한 전기전도도와 다양한 진공 장비를 이용하여 비교적 쉽게 증착이 가능하기 때문이다. 하지만, 소자에 적용되어 전극으로 사용될 때 캐리어들과 Al 원자들의 충돌로 Al이 이동하는 electromigration 현상과 높은 온도에서의 공정의 어려움에 대한 문제점이 있다. 따라서, 다른 금속과의 합금이나 다층구조를 적용하고 있다.

상기에 언급한 물질들에 대해 불순물이 거의 없는 고순도의 막을 형성하기 위하여 고진공 분위기에서 막을 구현하고 있다. 따라서, 진공을 형성하기 위해서는 기판을 포함할 수 있는 큰 챔버와 함께 진공용 펌프가

구비되어야 한다. 따라서 장비의 크기가 커지고 유지비가 증가하는 문제점이 대두된다.

본 연구진은 이러한 센서를 구성하는 물질들에 대해 상압플라즈마 장비를 이용하여 제작하고자 하였으며, 최근에 절연체인 실리콘 산화막을 이 장비를 이용하여 증착하는데 성공하였다. 다음으로 이러한 공정 기술로 금속을 형성시키기 위해서 연구를 진행하였으며 그 결과에 대해 논하고자 한다. 제안된 연구가 성공한다면 반도체, 디스플레이, 이차전지 등 금속 박막의 코팅이 필요한 다양한 융합분야에의 적용을 기대할 수 있다.

## 2. 본론

본 연구에서 사용되는 코팅용 금속 물질로 Ti를 정했으며, 그 이유는 AZO(Aluminium Zinc Oxide) 기반의 투명 광센서를 제작한 경험이 있고, 이때 전극으로 사용되었던 물질이 티타늄(Ti: Titanium)이다. 또한, 연구진은 진공 장비를 이용하여 이 물질을 증착하기 위한 다양한 공정 기법 및 노하우를 보유하고 있으며, 뿐만 아니라 센서 소자가 구현되기 위한 접촉 저항(Contact resistance), 접착력(Adhesion), 반사도 등 물리 및 전기적인 특성에 대한 데이터도 확보하고 있기 때문이다.

### 2.1 상압플라즈마 장비 시스템 구조 최적화

일반적인 상압플라즈마 장비는 Fig. 1과 같이 장비가 구현되어 공정이 진행된다. 샘플이 샘플 스테이지에 놓이고 플라즈마 소스는 고정되며, 스테이지가 움직이는 방법으로 샘플에 플라즈마가 조사되는 형태이며, 이러한 장비에 공급되는 가스는 아르곤과 산소이다. 이러한 가스들은 안정적이고 인체에 무해하기 때문에 공기 중에 노출된 상태에서 공정이 진행된다.

하지만, 연구되고 있는 Ti 물질을 샘플에 코팅하기 위해서 제안된 아이디어는 Fig. 2와 같은 4인치 크기의 sputter용 target을 식각하여 물리적 화학적 반응에 의해 target으로부터 떨어져 나온 입자들이 샘플 표면에 형성되도록 한 것이다. 이를 위해서는 CF<sub>4</sub>라는 가스를 사용해야 하며, 이 가스는 인체에 유해하다. 따라서 기존의 상압플라즈마 장비를 개조할 필요가 있었다. 공급되는 가스 및 식각에 반응하지 않은 가스들을 외부로

배출하기 위해 Fig. 3(a)와 같이 장비를 개조하였다. 또한, 플라즈마 장비를 투명 아크릴 박스 안에 넣고 샘플 인입이 가능하도록 여닫이 문을 포함시켰다. 혹시 모를 가스 누출을 최소화하기 위하여 창문을 개방한 상태에서 실험을 진행할 수 있도록 장비를 위치시켰다.

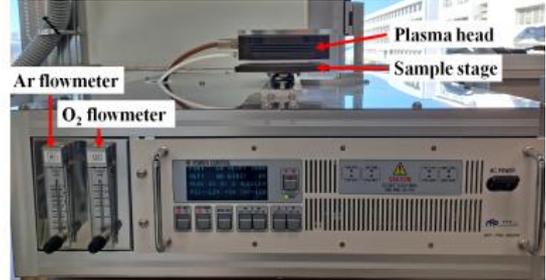


Fig. 1. Images of (a) main equipment, (b) Ar gas, and (c) oxygen gas constituting a general atmospheric pressure plasma system.

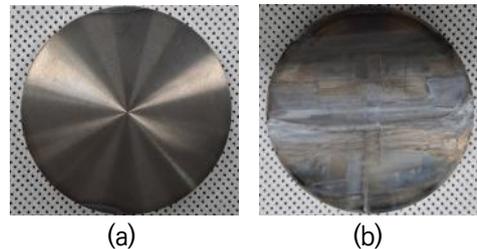
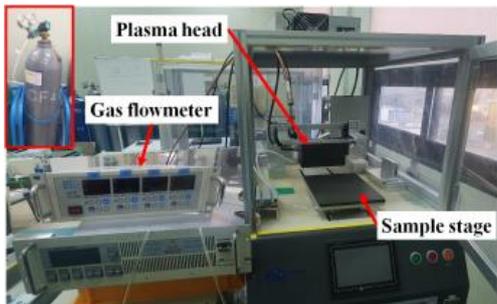


Fig. 2. Ti target images for 4-inch sputter before (a) and after (b) coating experiment.

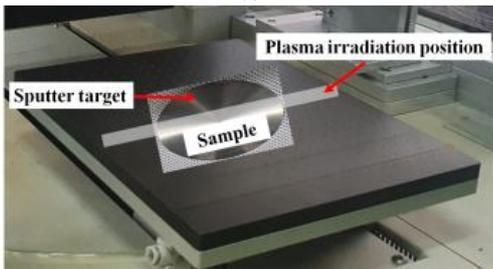
### 2.2 Ti 증착을 위한 공정 조건

실험을 위한 공정 조건은 다음과 같다. 증착을 진행하기 전에 샘플(유리) 표면에 있는 유기물을 제거할 목적으로 Fig. 1(a)의 장비에 Fig. 1(b)의 아르곤과 Fig. 1(c)의

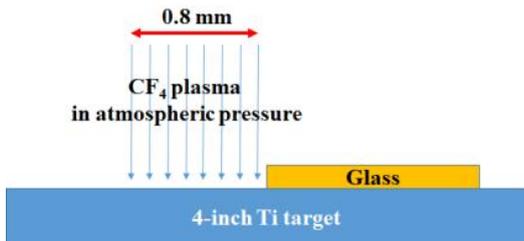
산소 가스를 공급하여 산소플라즈마를 형성한 분위기에서 약 30초간 표면 처리를 진행한다[15]. 이후 개조된 Fig. 3(a) 장비를 이용하여 아르곤(Ar: Argon)과 CF<sub>4</sub>가스가 장비로 연결된 라인을 통해 플라즈마 헤드에 공급되며, 10분간 스테이지를 고정시킨 상태에서 Fig. 3(b)와 같이 플라즈마를 Ti target에 조사하였다. 샘플 및 타겟에 조사되는 플라즈마 빔의 사이즈는 0.8mm × 200mm 크기이며 타겟과 샘플이 접촉되는 부분에서 Fig. 3(c)에서와 같이 타겟쪽에 빔이 위치되도록 하였다. 이러한 플라즈마는 13.56MHz RF(Radio frequency)와 150W 파워에 의해서 생성되었으며, 공정 온도는 상온이다. 또한, 플라즈마 헤드와 글라스와의 거리는 3mm이다. Fig. 2(b)는 플라즈마 테스트 후 타겟의 표면 이미지를 나타내며, 실험전의 Fig. 2(a)와 비교했을 때 CF<sub>4</sub> 플라즈마에 의해 식각되었음을 확인할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. (a) Modified atmospheric plasma equipment system and (b) Image showing the plasma

region irradiated to the target and the sample placed on the sample stage. (c) Schematic diagram showing the area where CF<sub>4</sub> plasma is irradiated to the structure with the Ti target under the glass sample.

### 2.3 개조된 상압플라즈마 장비를 이용한 Ti 증착

Ar에 의해 플라즈마가 형성되어 CF<sub>4</sub>가스를 분해한다. 이렇게 분해된 반응성 가스들은 Ti target으로 이동하게 되고 물리 및 화학적 반응에 의해 Ti 원자뿐만 아니라 부산물이 떨어져 나오게 되며 증착이 이루어진다. Fig. 4(a)는 글라스 표면에 증착된 막을 저배율로 관찰한 SEM(Scanning Electron Microscopy) 이미지를 나타낸다. 표면 색깔이 위치에 따라 다르게 보이며, 증착된 막의 두께의 차이 때문이다. #1의 위치가 target과 가장 가까이에 있는 영역이며, 숫자가 커질수록 타겟과의 거리가 멀어짐을 의미한다. 즉, #15의 위치는 타겟과 가장 거리가 떨어져 있으며, #1의 위치로부터 #15 사이의 간격은 약 2cm이다. 에칭된 부산물(By-product)들이 2cm 거리까지 이동하여 글라스에 막을 형성하였음을 알 수 있다.

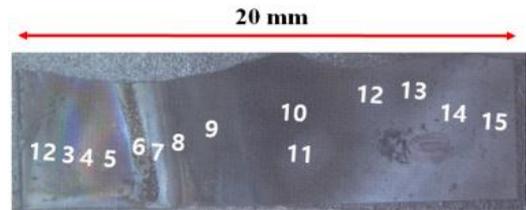


Fig. 4. Surface SEM image of coated sample.

부산물들이 글라스 표면에 위치에 따른 변화를 자세히 관찰하기 위하여 Fig. 5와 같이 1,000배와 30,000배의 고배율로 SEM 분석을 추가로 진행하였다. 15 포인트 중 색깔 변화가 급격하게 나타나는 #1, #3, #6, #7, #9, #15 위치에 대한 표면 형상을 조사하였다.

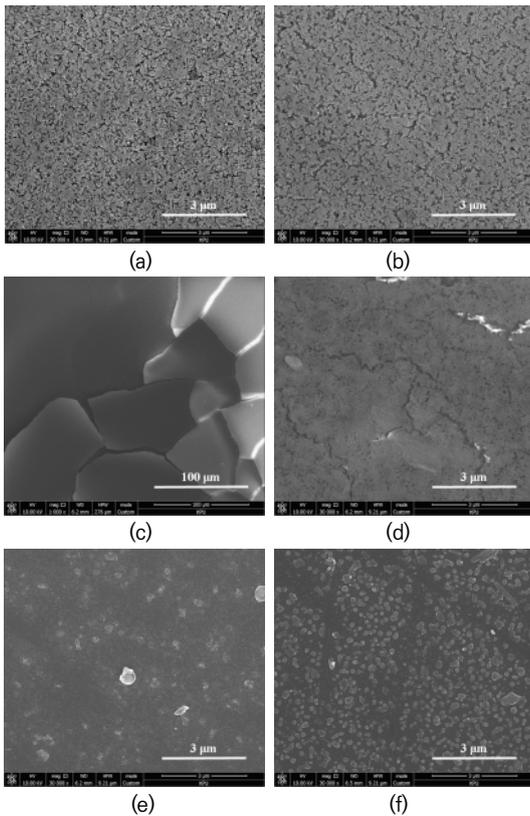


Fig. 5. High-magnification SEM images of the film formed at the positions (a) #1, (b) #3, (c) #6, (d) #7, (e) #9, and (f) #15 of the sample shown in Fig. 4.

타겟에서 식각되어 생성된 물질들이 타겟과 가까운 글라스 영역에 많이 형성되어야 하며 SEM 결과도 동일한 경향을 보인다. 이러한 현상은 Fig. 5의 #1, #3, #9에서의 형상으로 확인이 가능하다. 하지만, #9보다 #15인 가장 먼 위치에서 더 많은 형상이 관찰된다. 이러한 이유는 아크릴 박스 안에 남아있는 가스들이나 글라스에 형성되지 않은 부산물들을 외부로 배출하기 위한 배출구의 위치가 #15에서 가장 가깝기 때문이다. 또한, #6에서는 ~100 $\mu\text{m}$  정도 되는 직사각형 형태의 판이 형성되어 있음을 알 수 있다. 뿐만 아니라, #7은 #1이나 #3 위치보다 형성된 막이 더 조밀해 보인다. 이러한 현상은 아크릴 박스내의 예칭 가스, 공기, 부산물들의 흐름과 연관된 것으로 판단된다. 이러한 현상을 좀 더 면밀히 살펴보기 위해서는 대류와 관련된 유체 역학을 적용한 시뮬레이션을 통해 검증할 필요가 있다.

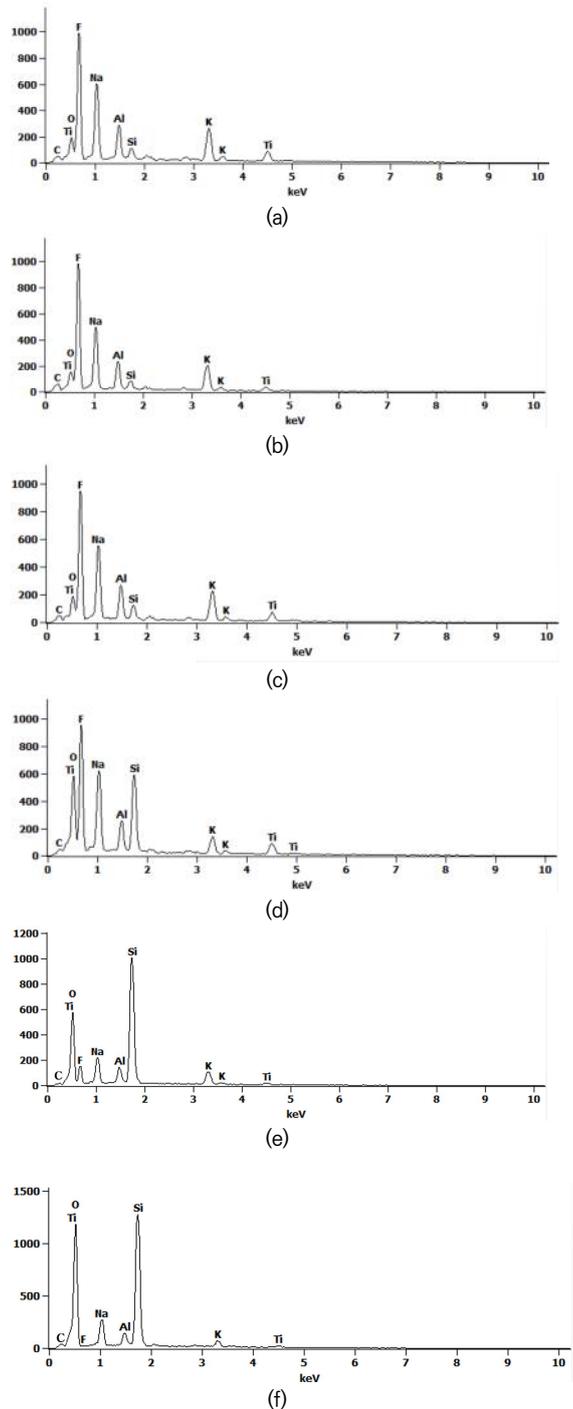


Fig. 6. EDS analysis results of the film formed at the positions (a) #1, (b) #3, (c) #6, (d) #7, (e) #9, and (f) #15 of the sample shown in Fig. 4.

위치에 따른 다른 형상들의 구성 성분들을 조사하기 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectrometer)를 이용하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 칼륨(K: Potassium), Ti, 산소(O: Oxygen), 플루오린(F: Fluorine), 나트륨(Na: Natrium), Al, Si이 검출되었다. K, O, Na, Si, Al은 글라스에 의한 것이다. 반면 F는 에칭 가스인 CF<sub>4</sub> 때문이며, Ti는 타겟으로부터 떨어져 나온 원소로 증착이 되어야 하는 성분이다. 각 원소들의 정량적인 수치를 비교하기 위하여 weight%로 표현된 데이터를 Fig. 7에 나타내었다.

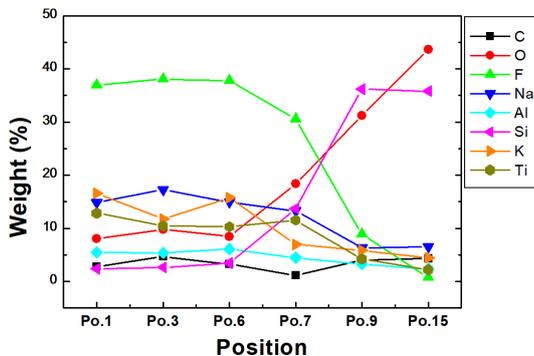


Fig. 7. Composition ratio for elements of the film formed at the positions (a) #1, (b) #3, (c) #6, (d) #7, (e) #9, and (f) #15 of the sample shown in Fig. 4.

탄소는 EDS 분석을 위해 사용된 카본테이프에 의한 것이다. 글라스의 주성분인 산소와 실리콘은 거리에 따라 비율이 증가하는 반면 글라스의 불순물인 나트륨, 알루미늄과 칼륨은 거리가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타낸다. 뿐만아니라 에칭 가스에 의한 플루오린도 위치가 커짐에 따라 감소한다. 또한, 이러한 성분들은 #6까지 증감은 있으나 비슷한 값을 보이는 것을 확인하였다. 반면 Ti는 #7의 위치까지 비슷한 비율을 보인다. 플루오린 비율이 가장 낮은 위치는 #15지만 증착이 필요한 Ti 비율도 상당히 낮아지며, Fig. 5(f)에서와 같이 증착률(Deposition rate)이 낮아서 산개된(Scattered) 파티클들이 형성되어 있다. 따라서 증착률을 타겟과 가장 가까운 #1위치와 비슷하게 유지하고, 불순물을 최소화시키면서 Ti 막을 형성시키기 위해서는 타겟으로부터 약 4.5mm에서 5mm 정도인 #7에 위치시키도록 한다. 하지만 이 영역에서 플루오린 비율이 #6보다 감소하지만, 30%로 상당히 높다.

서론에서 언급한 것처럼 Ti는 전도도가 높은 도체 특성을 보이기 때문에 #1부터 #15까지 Fig. 8의 4point probe 장비를 이용하여 sheet resistance를 측정하였다.

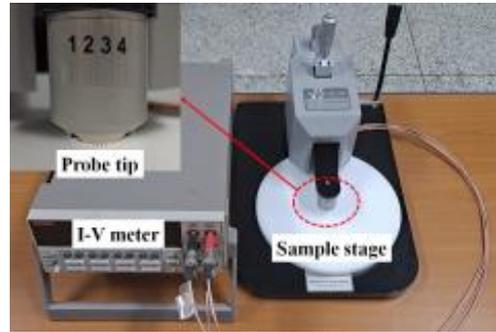


Fig. 8. Image of 4 point probe equipment used to measure surface resistance.

하지만, 모든 영역에서 무한대( $\infty$ ) 즉, 절연체의 특성을 보였다. 전 영역에서 Ti가 포함되어 있지만, 플루오린에 의해 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 본 연구진은 F 원소를 제거하거나 증착 시 최소화하는 방안에 대해 추가 실험 및 연구를 진행 중이다.

### 3. 결론

상압 분위기에서 비교적 빠르고 쉽고, 저렴하게 광센서를 제작하는 것이 본 연구진의 최종 목표다. 이를 위해서는 광센서의 구성 요소인 도체, 절연체, 반도체를 이 기술로 구현해야 한다. 본 연구진은 이미 산화막(SiO<sub>2</sub>) 및 광반도체 소재인 페로브스카이트 박막을 형성하는 기술을 확보하였다. 만약 금속 박막을 성공시킨다면 상압분위기에서 광센서를 제작할 수 있을 것이다. 따라서 금속 소재중에서 Ti 물질에 대한 증착 연구를 진행하였으며, 그 결과에 설명하였다.

기존의 상압플라즈마를 개조하여 실험 시스템을 구현하였고, CF<sub>4</sub> 가스를 이용하여 sputter용 Ti 타겟을 식각하여 그 부산물이 샘플에 코팅되는 방법을 이용하였다. 이러한 부산물이 약 2cm까지 형성되었으며, 색깔에 따라 #15영역으로 구분할 수 있었다. SEM 및 EDS, 4-point probe 장비를 이용하여 표면 형상 및 구성 원소를 분석하였으며, 또한, 전도도를 측정하였다. 증착률 및 Ti 비율을 고려한다면, 타겟에서 약 4.5mm

에서 5mm 정도에 샘플을 위치시켜 코팅하면 박막이 형성되지만, 이 박막에 상당량의 플루오린이 함유되어 있어 매우 높은 저항값이 관찰되었다. 따라서 플루오린을 제거하거나 증착시 최소화하는 방안에 대해 추가 실험 및 연구를 진행하고자 한다.

제안된 연구가 성공한다면, 진공 분위기에서 증착된 금속 박막을 상압분위기의 공정으로 대체하여 보다 신속하게 금속을 증착시킬 수 있고, 장비 유지비를 줄여 공정 비용을 절감시킬 수 있다.

## REFERENCES

- [1] J.-I. Lee, S. Lee, H.-M. Oh, B. R. Cho, K.-H. Seo & M. Y. Kim (2020). 3D Contact Position Estimation of Image-Based Areal Soft Tactile Sensor with Printed Array Markers and Image Sensors. *Sensors*, *20(13)*, 3796. DOI : 10.3390/s20133796
- [2] A. Inoue, T. Okino, S. Koyama & Y. Hirose (2020). Modeling and Analysis of Capacitive Relaxation Quenching in a Single Photon Avalanche Diode (SPAD) Applied to a CMOS Image Sensor. *Sensors*, *20(10)*, 3007. DOI : 10.3390/s20103007
- [3] M. Roslina & M. R. Mokhtar (2020). Self-referencing optical intensity sensor based on radio-frequency spectrum interrogation. *Optical Fiber Technology*, *53*, 102009. DOI : 10.1016/j.yofte.2019.102009
- [4] 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
- [5] Z. Krstic & V. D. Krstic (2012). Silicon nitride: the engineering material of the future, *Journal of Materials Science*, *47*, 535-552. DOI : 10.1007/s10853-011-5942-5
- [6] M. D. Groner, F. H. Fabreguette, J. W. Elam & S. M. George (2004). Low-Temperature Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Atomic Layer Deposition. *Chemistry of Materials*, *16(4)*, 639-645. DOI : 10.1021/cm0304546
- [7] O. A. Dicks, J. Cottom, A. L. Shluger & V. V. Afanas'ev (2019). The origin of negative charging in amorphous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films: the role of native defects. *Nanotechnology*, *30(20)*, 205201. DOI : 10.1088/1361-6528/ab0450
- [8] D. Arl, V. Rogé, N. Adjeroud, B. R. Pistillo, M. Sarr, N. Bahlawane & D. Lenoble (2020). SiO<sub>2</sub> thin film growth through a pure atomic layer deposition technique at room temperature. *RSC Advances*, *10(31)*, 18073-18081. DOI : 10.1039/D0RA01602K
- [9] H. P. Kim, M. J. Kim, K. B. Kim, H. Khachatryan & J. Jang (2017). Properties of atmospheric hydrogen-plasma-treated CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub> perovskite films. *Surface & Coatings Technology*, *330*, 228-233. DOI : 10.1016/j.surfcoat.2017.09.002
- [10] H. Khachatryan, H. P. Kim, S. N. Lee, H. K. Kim, M. J. Kim, K. B. Kim & J. Jang (2018). Novel method for dry etching CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub> perovskite films utilizing atmospheric-hydrogen-plasma. *Materials Science in Semiconductor Processing*, *75*, 1-9. DOI : 10.1016/j.mssp.2017.11.019
- [11] H. Khachatryan, Y. H. Kim, K. B. Kim, H. J. Yang & M. J. Kim (2019). Direct etching of perovskite film by electron-beam scanning. *Materials Science in Semiconductor Processing*, *90*, 171-181. DOI : 10.1016/j.mssp.2018.10.022
- [12] M. J. Kim (2021). 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
- [13] H. Khachatryan, S.-N. Lee, K.-B. Kim & M. J. Kim (2019). Deposition of Al Thin Film on Steel Substrate: The Role of Thickness on Crystallization and Grain Growth. *Metals*, *9(12)*, 1-8. DOI : 10.3390/met9010012
- [14] H. Khachatryan, S.-N. Lee, K.-B. Kim, H.-K. Kim & M. J. Kim (2018). Al thin film: The effect of substrate type on Al film formation and morphology. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, *122*, 109-117. DOI : 10.1016/j.jpcs.2018.06.018
- [15] K. B. Kim, J. P. Lee & M. J. Kim (2021). 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 경 보(Kyoung-Bo Kim)

[정회원]



- 2000년 8월 : 포항공과대학교 신소재공학과(공학박사)
- 2000년 8월 ~ 2001년 5월 : 포항공과대학교 신소재공학과(박사후연구원)
- 2001년 5월 ~ 2004년 8월 : 나이넥스(차장)
- 2004년 8월 ~ 2008년 12월 : 삼성디스플레이(책임연구원)
- 2009년 1월 ~ 2014년 11월 : 포스코(전문연구원)
- 2014년 11월 ~ 2016년 02월 : 한국생산기술연구원(전문위원)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 재료공학과 교수
- 관심분야 : Solar Cell, Display, Metal processing
- E-Mail : kbkim@inhac.ac.kr