

# Direct write 기술로 제작된 유연촉각센서와 동합금 단자의 접촉저항

김진동\*, 배용환\*\*, 윤해룡\*\*\*, 이인환\*\*\*\*, 김호찬\*\*\*\*\*,#

\*안동대학교 신뢰성교육연구센터, \*\*안동대학교 기계교육과, \*\*\*한국로봇융합연구원, \*\*\*\*충북대학교 기계공학부, \*\*\*\*\*안동대학교 기계자동차공학과

## Contact Resistance between Flexible Tactile Sensor Fabricated by Direct Write and Copper Alloy Terminals

Jindong Kim\*, Yonghwan Bae\*\*, Haeyong Yun\*\*\*, Inhwan Lee\*\*\*\*, Hochan Kim\*\*\*\*\*,#

\*Andong National University, Education and Research Center for Reliability, \*\*Department of Mechanical Education, Andong National University, \*\*\*Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, \*\*\*\*School of Mechanical Engineering, Chungbuk National University, \*\*\*\*\*Department of Mechanical and Automotive Engineering, Andong National University  
(Received 07 August 2020; received in revised form 01 October 2020; accepted 06 October 2020)

### ABSTRACT

Flexible tactile sensors, which are primarily used as grippers in robots, are mainly used to handle highly elastic or highly flexible objects. That is, flexible grippers are used when an object cannot be sufficiently controlled by applying a specific output force or taking a specific grabbing action. This is because a flexible tactile sensor needs to measure the pressure applied directly to held objects while deforming according to the shape of the object to be handled. CNT-based sensors used to be made from a highly flexible polymer to give flexibility and it is known that the sensors are greatly affected by the contact resistance of the terminal that connects the sensor to an electrical circuit; therefore, this paper clarifies the contact resistance of MWCNTs-based flexible tactile sensors and terminals. The effects of main and plating materials for terminals are investigated and the combinations of main and plating materials that exhibit contact resistance are measured in a typical industrial environment.

**Key Words** : 3D Printing(3D 프린팅), Tactile Sensor(촉각센서), MWCNTs(다중벽카본나노튜브), Contact Terminal(접촉단자), Gripper(그리퍼), Robot(로봇)

### 1. 서 론

IOT(Internet of the things), 인공지능, 3D 프린팅

등 최근의 산업기술 혁신은 좀 더 인간에 가까운 로봇의 개발에 대한 기대를 증폭하고 있다.<sup>[1-3]</sup> 이에 따라 로봇의 역할 범위와 수행해야 할 작업의 범위가 더욱 확대되고 있다. 기존의 산업용 로봇으로는 수행하기 어려운 작업은 대부분 시각이나

# Corresponding Author : hckim@andong.ac.kr

Tel: +82-54-880-5269, Fax: +82-54-810-5044

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

촉각 등에 의한 제어가 필요한 것들이다.<sup>[4]</sup> 이러한 작업은 그리퍼에 인간의 촉감을 흉내 내는 촉각센서를 장착하여 이를 수 있으며, 쉽게 변형되는 제품이거나 쉽게 손상되는 제품이라도 유연하고 탄성이 높은 그리퍼를 적용하면서 현재의 압력 상태를 피드백해줄 수 있어야 한다. 또한 장착되는 촉각센서 역시 그리퍼를 따라 탄성적이고 변형이 가능해야 한다. 이러한 목적에 부합하는 유연촉각센서에 관해 최근 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>[5, 6]</sup>

많은 압력센서가 기존의 MEMS(micro-electro mechanical system) 공정을 이용하여 제작되는 것으로 개발되고 있으나, 최근에는 3D 프린팅이나 Direct draw에 의한 제작도 활발히 연구되고 있다.<sup>[7]</sup> 본 논문에서는 도전체인 MWCNT(Multi walled carbon nano tube)를 탄성부도체인 PDMS(poly dimethyl siloxane)에 분산하여 센서로 제조하며 압력이 가해지면 변형되어 MWCNT간 연결의 변화가 발생하여 전기적 저항에서도 변화를 일으키는 유연촉각센서를 대상으로 한다.<sup>[7, 8]</sup> MWCNT와 PDSM로 만들어진 압력감응소재는 잉크의 형태로 제조되어 센서를 장착할 부위에 인쇄되어 경화된다. 이러한 압력감응잉크를 제조할 때 MWCNT의 분산이 가장 중요하며, 균질기(Homogenizer), 3 Roll Mill 및 Paster mixer를 이용하는 방법이 소개되고 있다.<sup>[7, 8]</sup> 본 논문의 선행연구에서 압력감응잉크의 제조에서 Paste Mixer를 이용한 분산이 간편하면서 다른 방법들과 유사한 분산도를 유지하는 것으로 나타났으므로 이를 이용하여 촉각센서를 제조하였다.<sup>[9]</sup> 이때 압력감응잉크로 제작된 압력센싱 부위가 측정회로에 연결되기 위해서는 접촉단자의 사용이 필수적이다. 그런데, 황동 단자를 이용한 선행연구에서 잉크의 분산방법 보다는 단자에 따라 접촉저항이 매우 크게 변화하는 것을 관찰하였다.<sup>[9]</sup> 따라서, 본 논문은 산업에서 주로 접촉 단자로 사용되는 청동, 황동 소재의 금 또는 주석이 도금된 단자에 대하여 탄성촉각센서 접속시 저항을 측정하여 해당 센서에서 접촉단자의 재질과 표면처리가 접촉저항에 미치는 영향을 실험적 방법을 통하여 제시하였다.

## 2. 시편제작

CNT기반 유연촉각센서와 단자 사이의 접촉저항을 측정하기 위한 시편은 Fig. 1에 나타난 바와 같은 공정으로 제조되었다. 시편은 유연하지만 제조되는 과정에서는 3D 프린터로 ABS소재로 만들어진 base위에 고정된 형태로 제작되었다. 센서가 그려질 바닥면은 유연하고 탄성이 있는 소재인 DOW CORNING사의 PDMS인 sylgard 184 A(주제)와 B(경화제)를 질량비 100:6의 비율로 혼합하여 사용하였다.<sup>[7]</sup> 이 소재는 혼합 후 열경화 또는 광경화가 가능하며, 실온에서도 경화가 되지만 본 실험에서는 충분하고 빠른 경화를 위하여 60°C의 약한 열을 Hot plate를 이용하여 가하였다. 이후 실험에 사용될 각종 단자를 base에 가접착하였다. 이후 단자와 PDMS층위에 Direct draw기술을 이용하여 압력감응잉크를 선형으로 주사하여 센서를 제조하였다. Direct draw 장치와 시편의 제조에 관한 더 자세한 설명은 본 논문의 선행연구를 참고하기 바란다.<sup>[9]</sup>

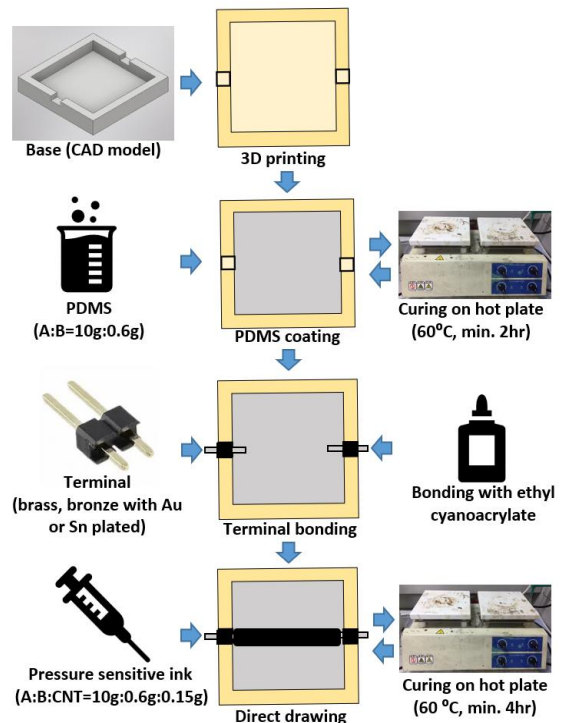


Fig. 1 Specimen fabrication

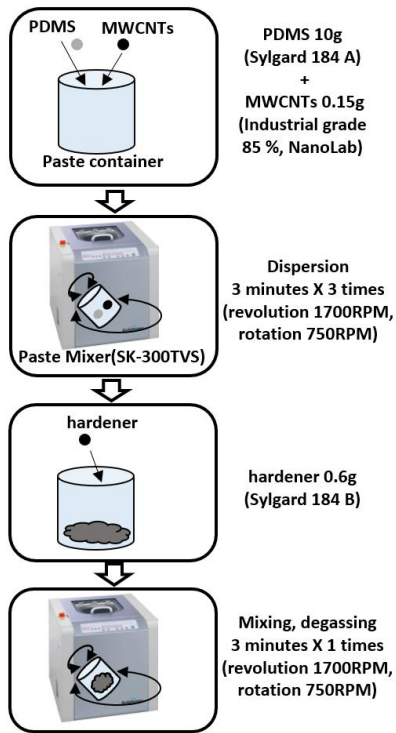


Fig. 2 Ink fabrication for resilient tactile sensor

### 2.1 인쇄형 압력감응재의 제작

MWCNT와 PDMS로 제조한 압력감응재를 이용하여 Direct draw 기술로 인쇄하면 평면은 물론 곡면에까지 탄성촉각센서를 맞춤형으로 제작할 수 있다.<sup>[7-9]</sup> 본 논문에서 사용되는 MWCNT는 직경 10~30 nm 이며 길이 5~20  $\mu\text{m}$ 의 다중벽을 가진 Industrial grade (NANOLAB) 제품이다. 또한 PDMS는 바닥면과 동일한 소재이며 동일한 비율의 경화제를 사용하였다. 이때의 압력감응재의 감도에는 MWCNT의 분산 정도가 매우 큰 영향을 미치며, CNT의 분산에 대해서는 최근 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>[10, 11]</sup> 본 논문에서는 부가적인 희석제 없이 분산이 가능한 Paste mixer를 이용하여 제작된 압력감응재로 단자별 저항을 비교하였다. 이는 다른 분산 기술에 비하여 간단하면서도 적절한 분산수준에 도달할 수 있다.<sup>[9]</sup> 압력감응재의 구체적인 제조 방법은 Fig. 2의 그림에 나타내었으며, 선행연구를 참조하기 바란다.<sup>[9]</sup>

Table 1 Terminals for 1<sup>st</sup> material - plating set test

	A type	B type	C type	D type
Material	Brass	Brass	Phosphor bronze	Phosphor bronze
Plating	Gold	Tin	Gold	Tin*
Manufact -urer	Connfly electronics	HARWIN	Samtec Inc.	Amphenol ICC
Product no.	DS1004 -1*40F14	M20-999 0246	HTSW-1 02-07-G-S	77311-11 8-02LF
Contact shape	Circle	Square	Square	Square
Terminal width or diameter (mm)	0.41	0.64	0.64	0.62
Current rating(A)	-	3	6.3	3

\* it has plated one side by gold and the other by tin, but the ink contacts with only tin side.

Table 2 Gold plated brass terminals for 2<sup>nd</sup> test

	A type	E type	F type	G type
Material	Brass	Brass	Brass	Brass
Plating	Gold	Gold	Gold	Gold
Manufact -urer	Connfly electronics	HARWIN	Shenzhen nestech electronics	Suuny wish technology
Product no.	DS1004 -1*40F14	M20-999 0245	JL-OK -723	PH01-40 SS-G-14 mm
Contact shape	Circle	square	Square	Square
Terminal width or diameter (mm)	0.41	0.64	0.64	0.64
Current rating(A)	-	3	3	3

### 2.2 Copper alloy terminals

본 논문의 실험은 2차에 걸쳐서 이루어졌다. 1차 시험은 Table 1에 나타난 바와 같이 청동, 황동의 구리 합금 종류와 금, 주석 등 도금 방법에 따른 터미널과 제시된 CNT기반 압력감응재와의 적합성 시험이다. 2차 시험은 Table 2에 나타난 터미널이 사용되었으며, 1차시험의 결과 가장 높

은 적합성을 나타낸 금도금된 황동 터미널의 금 성분 함량에 따라 비교하는 실험이다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 동합금 - 도금 조합의 영향

본 논문의 선행연구들에서 압력감응센서에 있어서 터미널의 종류에 따라 출력 특성의 큰 차이를 보였다.<sup>[7-9]</sup> 따라서, 본 실험은 산업적으로 주로 사용되는 황동 또는 인청동 재질의 터미널에 주석 또는 금을 도금한 제품 중 CNT기반 압력감응센서에 적합한 소재-도금의 조합을 검토하는 1차 실험을 가졌다. Table 1에 보인바와 같은 산업용 터미널들은 합금이나 도금의 성분에 대한 정확한 데이터를 제공하고 있지 않아 이들에 대하여 EDS(Energy dispersive X-ray spectrometer) 분석을 통하여 정확한 함량을 찾아 그 결과를 Table 3에 보였다. A, B는 황동, C, D는 청동이 터미널의 소재이며, A, C는 금, B, D는 주석이 도금되었음을 확인하였다. 또한 주석과는 달리 금의 경우 니켈 층을 도금한 후 그 위에 금이 도금되었으며 도금 두께에 비례하여 성분이 검출되었다.<sup>[12]</sup>

Table 3 EDS analysis on terminals of 1st test

	Material elements		Plating elements	
A type	C	10.69%	C	15.07%
	Cu	42.42%	Ni	68.31%
	Zn	46.89%	Sn	0.00%
	Sn	0.00%	Au	16.62%
B type	C	11.05%	C	5.76%
	Cu	50.27%	Ni	0.00%
	Zn	38.68%	Sn	94.24%
	Sn	0.00%	Au	0.00%
C type	C	11.40%	C	12.37%
	Cu	83.18%	Ni	5.55%
	Zn	0.00%	Sn	0.00%
	Sn	5.43%	Au	82.07%
D type	C	19.21%	C	5.55%
	Cu	77.59%	Ni	0.00%
	Zn	0.00%	Sn	94.45%
	Sn	3.21%	Au	0.00%

Table 4 Resistance from compatibility test


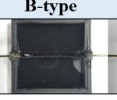
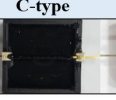
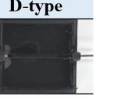
	A-type	B-type	C-type	D-type
Picture				
Resistance (KΩ-cm) specimen 1	2.27	780.15	28.31	N. A. (infinite and/or unstable)
Resistance (KΩ-cm) specimen 2	2.39	1,410.15	26.72	
Resistance (KΩ-cm) specimen 3	2.24	1,580.30	34.34	
Resistance (KΩ-cm) specimen 4	2.45	1,100.50	27.07	
Resistance (KΩ-cm) specimen 5	2.30	945.10	12.27	
Average	2.33	1,163.24	25.74	
Standard deviation	0.09	329.08	8.14	

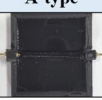
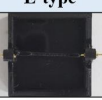
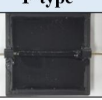
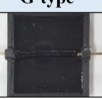
Table 3의 단자에 MWCNT 압력감응재로 센서를 제조하여 실험한 결과는 Table 4에 보였다. A type의 황동-금도금 터미널의 경우 가장 낮은 저항과 작은 표준편차를 보였다. 그러나, B type은 황동-주석 도금으로 매우 높은 저항과 큰 편차를 보였다. C type은 청동-금 도금이며, 금 도금이 두께가 두꺼웠으나 표준편차가 매우 크게 나타났다. D type은 청동-주석도금으로 저항이 매우 높아 측정되지 않거나 측정하기 어려울 정도로 변화가 심하였다. 이러한 1차 시험을 통하여 황동-금도금 터미널이 가장 적합한 것으로 선택되었다.

#### 3.2 금도금 황동 단자의 함량의 영향

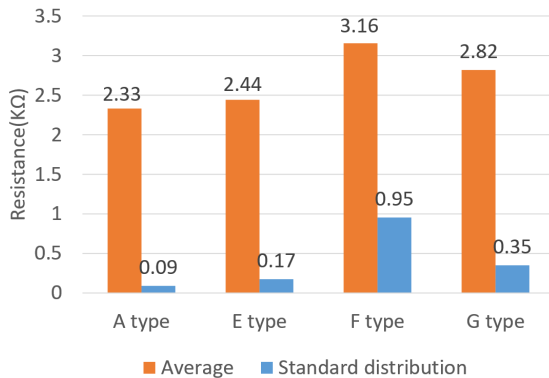
Table 5 EDS analysis on terminals of 2nd test

	Material elements		Plating elements	
A type	C	10.69%	C	15.07%
	Cu	42.42%	Ni	68.31%
	Zn	46.89%	Au	16.62%
	C	8.82%	C	11.87%
E type	Cu	55.34%	Ni	79.78%
	Zn	35.84%	Au	8.35%
	C	11.63%	C	6.93%
F type	Cu	55.00%	Ni	87.94%
	Zn	33.37%	Au	5.13%
	C	11.58%	C	7.00%
G type	Cu	55.16%	Ni	86.93%
	Zn	33.26%	Au	6.06%

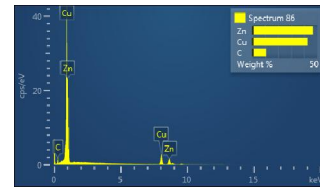
**Table 6 Resistances for 2nd test**

	A-type	E-type	F-type	G-type
Picture				
Resistance (KΩ-cm) specimen 1	2.27	2.33	2.26	2.27
Resistance (KΩ-cm) specimen 2	2.39	2.50	3.34	2.87
Resistance (KΩ-cm) specimen 3	2.24	2.22	4.01	2.99
Resistance (KΩ-cm) specimen 4	2.45	2.67	2.09	3.21
Resistance (KΩ-cm) specimen 5	2.30	2.46	4.10	2.75

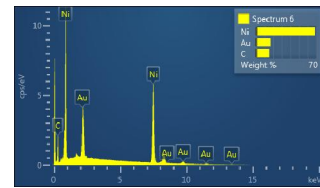
이때, 금도금의 두께가 미치는 영향을 파악하기 위하여 Table 2의 터미널들에 대하여 2차 시험을 실시하였으며, 그 결과 Table 5에 나타난 바와 같은 금 함량을 가진 터미널들에 대하여 그 특징을 시험하였다. 이 실험에서는 소재별로는 1차 시험만큼 크지 않아 정밀한 비교를 위하여 각 터미널에 대해 5개씩 시편을 제작하여 측정하였다. 금도금의 두께에 비례하는 금의 함량은 A type이 16.62%로 가장 높고 E type이 8.35%이며, G type이 6.06%이며, 가장 작은 F type은 5.13%로 A>E>G>F 순이다. 제작된 센서의 접촉저항 측정 결과는 Table 6에 나타난 바와 같다. 이때, 금 함량에 따른 차이를 분석하기 위하여 그 평균과 표준편차를 Fig. 3의 그래프로 표시하였다. 결과적으로 금 함량이 많을수록 평균 저항이 낮고 (A<E<G<F 순)



**Fig. 4 Resistance analysis of Au plated brasses**



**(a) Material**



**(b) Plating**

**Fig. 5 EDS spectrum of A-type terminal**

표준편차도 현저히 감소함을 알 수 있다. A type은 아연이 46.89%로 매우 높아 연성과 가공성이 높으나 전기전도성은 오히려 낮은 소재이나 도금된 금의 함량이 높아 결과적으로 압력감응제와의 접촉저항 및 편차가 가장 작은 것으로 나타났다. 그 외에 E, F, G type에서 도금에서 금의 함량이 감소할수록 평균 저항이 상승하고, 표준 편차는 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 압력감응잉크에서 전도체로 작용하는 MWCNT가 양적으로 매우 적으므로 도금 소재 중 금의 함량이 많을수록 전기적 연결성이 우수한 것으로 나타났으며 고려된 시편 중 가장 우수한 A type의 성분을 EDS 분석표로 Fig. 4에 보였다.

## 4 결론

본 논문은 MWCNT를 이용한 압력감응제를 Paste mixer를 활용하여 분산하여 제조한 경우에 대하여 적합한 터미널의 소재와 도금에 관한 특성을 실험적으로 제시하였다. 특히 접촉 단자의 전기적 특성을 정확히 비교하기 위하여 EDS시스템을 활용하여 원소재 및 도금소재에서 각 성분의 함유량을 확인하여 제시하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다. 도금의 종류에 관계없이 황동소재의 터미널이 청동에 비하여 MWCNT기반 압력

감응재와 접촉성이 우수한 것으로 나타났다. 그리고 황동에 대해서도 금이 도금된 경우가 주석이 도금된 경우에 비하여 우수함이 실험적으로 관측되었다. 또한 도금에서 금의 함량이 높을수록 전기적 저항이 낮음은 물론 시편별로 나타나는 편차도 크게 저감됨을 실험적으로 확인하였다.

## 후 기

“이 논문은 안동대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구되었음”

## REFERENCES

1. Kim, J. W., Jang, J. S., Yang, M. S., Kang, J. H., Kim, K. W., Cho, Y. J. and Lee, J. W., “A Study on Fault Classification of Machining Center using Acceleration Data Based on 1D CNN Algorithm,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 18, No. 9, pp. 29-35, 2019.
2. Choi, H., Kim, T. K., Heo, G. R., Choi, S. D., and Hur, J. W., “Study of Fuel Pump Failure Prognostic Based o Machine Learning Using Artificial Neural Network,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 18, No. 9, pp. 52-57, 2019.
3. Kim, J. M., Choi, C. W., and Jang, W. S., “Development of Robot Vision Control Schemes based on Batch Method for Tracking of Moving Rigid Body Target,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 17, No. 5, pp. 161-172, 2018.
4. Kim, J. M., Choi, C. W. and Jang, W. S., “Development of Robot Vision Control Schemes based on Batch Method for Tracking of Moving Rigid Body Target,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 17, No. 5, pp. 161-172, 2018.
5. Kang, I. P., Choi, B. G., and Kim, S. Y., “Human-robot Interaction using Flexible Tactile Sensor Technology,” *Journal of the KSME*, Vol. 59, No. 9, pp. 24-27, 2019.
6. Yoon, S. H., Baek, S. H. and Kim, C. W., “Design and Implementation of a Readout Circuit for a Tactile Sensor Pad Based on Force Sensing Resistors,” *Journal of the Korean Sensors Society*, Vol. 26, No. 5, pp. 331-337, 2017.
7. Park, S. C., Kim, H. C., Kim, S. Y., Lee, I. H., Lim, S. K. and Yun, H. Y., “Development of Flexible Tactile Sensor using Direct Draw Method and Improvement of Stability,” *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, Vol. 42, No. 8, pp. 701-708, 2018.
8. Park, S. C., Lee, I. H., Bae, Y. H., and Kim, H. C., “Optimization of Manufacturing Conditions of Pressure-Sensitive Ink Based on MWCNTs,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 18, No. 8, pp. 1-7, 2019.
9. Kim, J. D., Bae, Y. H., Lee, I. H. and Kim, H. C., “Output Characteristics of Printed Flexible Tactile Sensors Connected to Brass Terminals,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 19, No. 4, pp. 65-70, 2020.
10. Kim, C. M., Seo, J. W., Yoo, Y. E., Choi, D. S., Kim, S. K., and Jung, C. Y., “Study of dispersion of Multi-Walled Carbon Nanotubes with Injection Molding Process Condition,” *Proceedings of KSPE 2011 spring*, pp. 487-488, 2011.
11. Hwang, B. Y., Kim, J. H., Kim, D. J. and Lee, H. J., “A study on electromechanical properties of CNT conductive film deposited on flexible substrate depending on the dispersion conditions,” *Proceedings of The KSME 2011 autumn*, pp. 2929-2932, 2011.
12. Yun, J. J. and Lee, W. J., “Determination of Thin Film Thickness by EDS Analysis and its Modeling,” *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, Vol. 24, No. 8, pp. 647-653, 2011.