

Reverse Offset Printing용 고신축성 Blanket 재료 선정에 관한 연구

신승항*, 김석*, 조영태*[#]

*창원대학교 스마트제조융합협동과정

A Study on the Selection of Highly Flexible Blanket for Reverse Offset Printing

Seunghang Shin*, Seok Kim*, Young Tae Cho*[#]

*Department of Smart Manufacturing Engineering, Changwon National University.

(Received 25 January 2021; received in revised form 14 March 2021; accepted 15 April 2021)

ABSTRACT

Reverse offset printing is considering as an emerging technology for printed electronics owing to its environmentally friendliness and cost-effectiveness. In reverse offset printing, selecting the materials for cliché and blanket is critical because of its minimum resolution, registration errors, aspect ratio of reliefs, pattern area, and reusability. Various materials such as silicon, quartz, glass, electroplated nickel plates, and imprinted polymers on rigid substrates can be used for the reverse offset printing of cliché. However, when new structures are designed for specific applications, new clichés need to re-fabricated each time employing multiple time-consuming and costly processes. Therefore, by modifying the blanket materials containing the printing ink, several new structures can be easily created using the same cliché. In this study, we investigated various elastomeric materials and evaluated their applicability for designing a highly stretchable blanket with controlled elastic deformation to implement tunable reverse offset printing.

Key Words : Printed Electronics(인쇄전자), Reverse Offset Printing(리버스 오프셋 인쇄), Flexibility(신축성), Stretchable Blanket(신축성 블랭킷)

1. 서 론

인쇄전자는 직접 접촉하는 방식으로 전도성 잉크를 포함한 다양한 소재를 패터닝하는 기술이다. 반도체공정인 포토공정 및 식각 공정으로 발생하는 폐액이 발생하지 않아 친환경, 초저가 기술로 대두되고 있다. TFT(Thin Film Transistor), 디스플레이,

태양광패널, RFID(Radio Frequency Identification), 센서에 관한 연구가 주로 수행되고 있으며 최근에는 유연 디스플레이, 소자, 웨어러블 장비의 관심이 증대됨에 따라 유연인쇄전자에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다^[1-8].

인쇄전자는 패턴의 형성 방법에 따라 여러 기법으로 분류할 수 있으며 크게 스크린 인쇄, 플렉소 인쇄, 잉크젯 인쇄, 리버스 오프셋 인쇄(Reverse offset printing)가 있다^[9-16]. 리버스 오프셋 인쇄는 0.5~5 μm 수준의 선폭을 인쇄 할 수 있어 인쇄전자 기법 중

Corresponding Author : ytcho@changwon.ac.kr

Tel: +82-55-213-3608, Fax: +82-55-275-0101

가장 정밀한 패턴링이 가능한 기법으로, 선폭이 축소됨에 따라 소자의 소형화 및 제작 단가를 낮추는 것이 가능하기에 다양한 방면에서 연구가 수행되고 있으며 소재의 개량 및 인쇄 장비의 공정 변수를 조절하는 연구가 대표적이다^[17,18].

하지만 공정조건 및 소재를 이용한 선폭축소는 현재 한계에 도달한 상태로 이를 해결하기 위해 신축성 소재를 활용하는 방법을 구상할 수 있다^[19,20]. 하지만 기존 패턴링된 배선을 인장하게 되면 크랙과 같은 결함(defect)이 발생할 수 있으며, 패턴 선폭의 축소는 가능하지만 패턴간의 피치는 축소되지 않아 선폭과 간격을 동시에 축소시키는 방법으로 적용하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서 진행한 리버스 오프셋 인쇄 공정은 Fig. 1(a)에 나타난 것과 같이 코팅(coating), 패터닝(off process), 전사(set process) 순으로 진행된다. 우선 코팅 단계에서는 코팅 블랭킷(blanket)에 잉크를 코팅하여 균일한 잉크 박막을 형성한다. 다음으로 잉크 박막에 블랭킷을 접촉시켜 잉크를 블랭킷으로 전사한다. 패터닝 단계에서는 블랭킷에 전사된 잉크 중 패턴링에 사용되지 않는 부분의 잉크는 요철을 가진 클리셰(cliché)의 양각 부분을 이용하여 제거한다. 최종적으로 전사단계에서 블랭킷에 남은 잉크를 기판(substrate)으로 전사하여 전도성 잉크를 원하는 형상으로 인쇄한다.

본 연구에서는 리버스 오프셋 인쇄 공정에 신축성 블랭킷을 적용하여 패턴 미세화 공정 아이디어를 Fig. 1(b)에 제시하였다. 기존 리버스 오프셋 인쇄 공정의 코팅 단계에서 블랭킷에 잉크를 코팅하기 전 블랭킷을 인장시킨 후 패터닝과 전사 단계 사이에서 패턴링된 블랭킷을 복원시켜 선폭 및 피치를 축소시키는 공정을 제시하고 이를 구현하기 위해 높은 신축성을 가지는 블랭킷 소재를 선정 하고자 한다. 또한 선정된 소재를 이용하여 리버스 오프셋 인쇄를 통해 배선 형성이 가능한지 확인하였다.

2. 본 론

2.1 Blanket 소재의 선정

리버스 오프셋 인쇄에서 잉크가 전이 되는 과정에서 각 소재간의 표면에너지 차이가 인쇄품질을 결

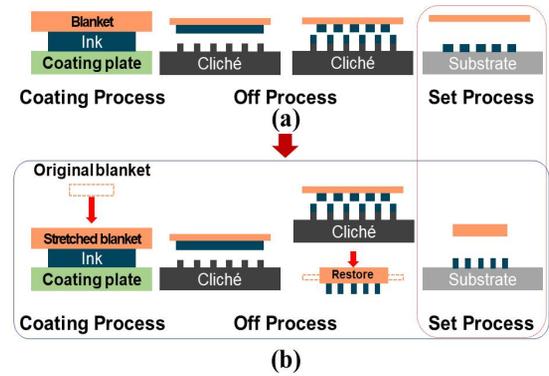


Fig. 1 Schematics of reverse offset printing process; (a) conventional printing process, (b) new printing process using stretchable blanket

정한다. 블랭킷, 클리셰, 기판의 표면에너지 차이에 따라 잉크가 전이되어 패턴이 형성되며 패턴링 단계에서는 클리셰의 형상에 따라 잉크 박막의 파단이 발생하여 원하는 배선을 패턴링 한다. 잉크가 소재와 접촉하는 순간 잉크의 응집력, 잉크와 블랭킷의 접착력, 잉크와 클리셰 간의 접착력 간의 상호작용을 통해 잉크가 기판에 전사된다^[21]. 패턴링 단계에서 잉크 박막이 파단되어 블랭킷에서 클리셰로 전이되며 이것은 블랭킷의 표면에너지보다 클리셰의 표면에너지가 더 높기 때문이다. 전사 공정에서는 블랭킷에 남아있는 잉크를 기판으로 전이시키는 과정으로 잉크가 전사되기 위해서는 기판의 표면에너지가 블랭킷의 표면에너지보다 커야한다.

본 연구에서 제시한 고신축성 블랭킷을 적용한 리버스 오프셋 인쇄 공정에서는 블랭킷의 신축성이 높을수록 패턴을 축소시킬 수 있는 비율이 높아진다. 하지만 고신축성 소재는 일반적으로 표면특성이 리버스 오프셋 인쇄에 적합하지 않기에 고신축성 블랭킷 소재를 선정하기 위해 일반적으로 리버스 오프셋 인쇄에 사용되는 PDMS(Polydimethylsiloxane) 소재 중 하나인 Sylgard184(SYLGARD™184 Silicone Elastomer), RT623(ELASTOSIL® RT-623) 그리고 고신축성 라텍스(latex), 니트릴(nitrile coated latex), Ecoflex0050 (Ecoflex™ 00-50) 실리콘을 블랭킷 소재 후보로 선정하였다. Fig. 2에는 선정된 블랭킷 소재의 연신율을 보여주고 있다. 블랭킷보다 클리

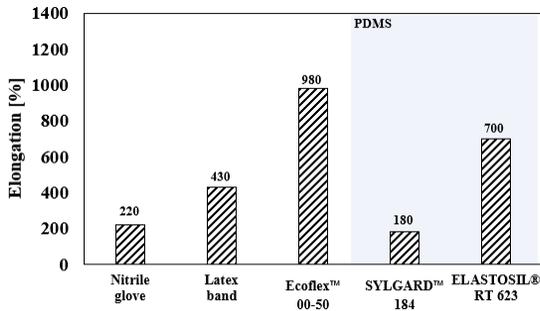


Fig. 2 Elongation of various materials

쇄 및 기관의 표면에너지가 높아야 전도성 잉크가 전사되며 사용된 PUA 클리셰의 표면에너지는 27.44mN/m, 기관(PET)의 표면에너지는 52.57mN/m이다. 블랭킷으로 사용된 소재의 표면에너지는 Ecoflex0050(19.96 mN/m), Sylgard184 (9.92 mN/m), RT623 (16.93 mN/m)이다.

리버스 오프셋 인쇄에 선정된 소재가 사용 가능한지 확인하기 위해 5가지 소재를 100 mm× 100 mm의 시트로 제작 한 후 리버스 오프셋 인쇄 실험을 진행하였다. 실험에는 테트라데칸(tetradecane) 및 옥탄(octane)을 용매로 하는 25 wt% 전도성잉크(Ag nano particle)를 사용하였으며 스펀코터에서 3500 rpm으로 10초간 코팅하였다. Fig. 3은 20 μm 선폭을 패터닝 할 수 있는 PUA(Polyurethane Acrylate) 기반 유연한 클리셰로써 이를 이용하여 Fig. 1(a)와 같은 공정으로 실험을 진행하였다. 가압조건은 15 kgf, 속도는 20 mm/s이다.

기초 리버스 오프셋 실험 결과를 Table 1에 나타내었는데 라텍스, 니트릴, Ecoflex0050은 솔벤트를 흡수하는 특성을 보여 패터닝 및 전사 공정에서 클리셰 및 기관에 잉크가 제대로 전사되지 않는 모습을 보였다. Sylgard184 및 RT623과 같은 PDMS 소재들도 코팅단계에서 균일하게 잉크 박막이 형성되지 않는 문제점이 있었지만 클리셰로 패터닝 및 기관으로 잉크가 전사되는 모습을 확인 할 수 있었다. 소재에 직접 스펀 코팅을 진행하여 균일한 잉크 박막을 형성하는 것이 불가능하기에 XR-3006 소재를 이용한 코팅용 기관을 제작하여 코팅용 기관 위에 균일 박막을 형성 한 후 각각의 재료로 제작한 블랭킷으로 전사하는 실험을 진행하였는데 실험결

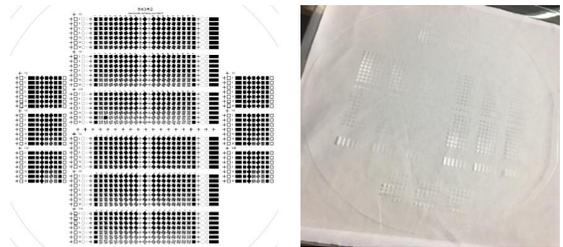


Fig. 3 Line & space micro patterns and flexible cliché fabricated by UV curable material

Table 1 Experimental results of reverse offset printing using a blanket made by each material

Material	Printed pattern	Result of coating on the blanket
Nitrile		
Latex		
Ecoflex 0050		
Sylgard 184		
RT623		

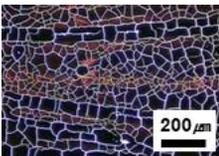
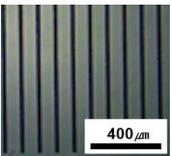
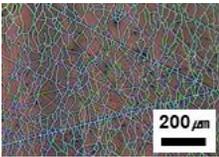
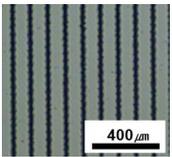
과 부분적으로 잉크가 코팅이 되기도 하였으나 대부분의 상황에서 블랭킷 위에 코팅된 결과가 균일하지 않아서 제대로 된 패터닝 실험 결과를 얻기에는 어려움이 많음을 확인하였다. 이는 니트릴, 라텍

스, Sylgard184, Ecoflex0050, RT623 모두 공고히 나타나는 현상이었다. Table 1의 실험 결과는 소재의 표면개질 없이 진행하였으며 솔벤트에 의한 스웰링 발생 정도가 낮으며 잉크가 전사되는 Sylgard184와 RT623을 선정하여 표면처리에 따른 인쇄 품질 변화를 확인하는 테스트를 진행하였다. 표면의 상태를 변화시켜 블랭킷에 균일하게 잉크가 코팅이 될 수만 있으면 인쇄가 가능하기 때문에 높은 연신율을 가지는 소재를 선정할 수 있다.

2.2 표면처리를 통한 인쇄 품질 향상

블랭킷 상에 전도성 잉크를 코팅하기 위해서는 코팅 용 기관보다 블랭킷 시트의 표면에너지가 높아야 하며, 두 표면에너지 차이가 클수록 잉크가 균일하게 전사된다. 따라서 블랭킷 시트를 자외선 세정기(UV/Ozone cleaner)로 자외선을 조사하여 표면에너지를 높이는 작업을 하였다. 자외선세정기는 조사된 자외선으로 표면에 오존 및 이온화된 산소를 발생시켜 표면에 산소 이온이 결합되어 블랭킷 시트의 표면에너지를 약 5~10 mN/m 높이는 효과를 나타내었다. 실험에는 25 mW/cm의 출력을 가지는 자외선세정기를 사용하였으며 180초간 블랭킷 표면에 조사하였다. Sylgard184, RT623 두 소재 모두 자외선 조사 후 코팅 용 기관에 코팅되어 있던 잉크가 블랭킷에 잘 전사가 됨을 확인하였고 앞과 동일한 실험 조건으로 리버스 오프셋 인쇄를 진행하였다.

Table 2 Results of reverse offset printing with fabricated blanket & coated ink with coating blanket

Material	Coated ink after UV-Ozone treatment	Printed results
Sylgard 184		
RT 623		

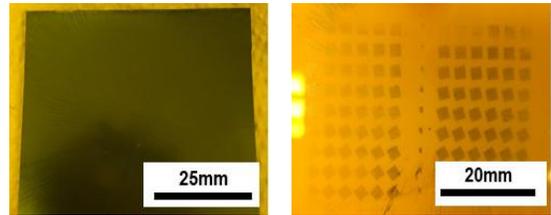


Fig. 4 Coated ink on RT623 blanket sheet and line and space patterning using cliché on RT623

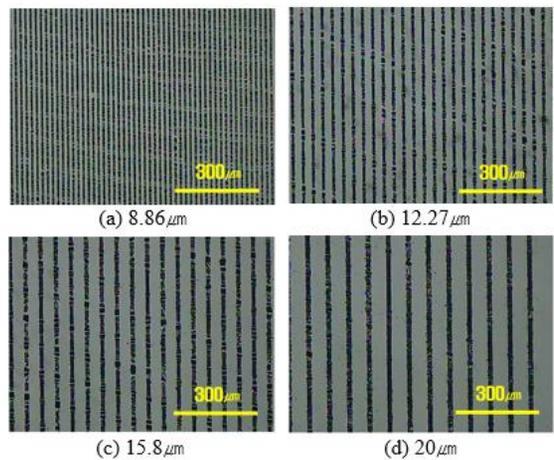


Fig. 5 Printed line and space pattern with RT 623 blanket sheet

최종적으로 패터닝 및 전사 공정 후 20 μm 선폭을 가지는 배선이 제대로 형성되는 것을 확인 할 수 있다. Table 2는 자외선 조사 후 Sylgard184 및 RT623 블랭킷 시트에 코팅된 잉크와 리버스 오프셋 인쇄로 패터닝한 선폭을 나타내었다. 두 소재 모두 리버스 오프셋 인쇄용 블랭킷으로 사용이 가능 할 것으로 판단할 수 있다. 본 연구는 고신축성 블랭킷을 이용한 리버스 오프셋 인쇄 공정의 구현에 있으므로 보다 높은 연신율을 가지는 RT623을 블랭킷 소재로 선정하였다. PET 필름에 코팅된 PDMS 블랭킷이 아닌 PDMS 만으로 이루어진 시트에 잉크 코팅을 진행하여 코팅 후 현미경으로 촬영하는 과정에서 발생한 변형으로 잉크 박막이 갈라진 현상이 보이지만 이는 공정 진행 후 바로 소결 공정을 수행하여 해결할 수 있는 결함이다.

다음은 선정된 RT623 블랭킷을 이용하여 미세

선폭 인쇄가 가능한지 확인하기 위해 20 μm 이하의 선폭을 가지는 클리셰를 이용한 리버스 오프셋 인쇄 실험을 진행하였다. 실험 조건은 동일하며 인쇄 품질의 향상을 위해 블랭킷 외에 클리셰 및 기관에도 자외선 조사를 동일하게 180초간 진행하였다.

실험 결과 8.8, 12.3, 15.8, 20.0 μm 의 선폭을 가지는 line and space 패턴을 구현 할 수 있었으며 수 μm 선폭을 앞에서 제시한 신축성 블랭킷을 이용한 리버스 오프셋 인쇄 공정에 적용하여 선폭 및 피치를 축소하는 패턴 미세화 공정 구현이 가능함을 알 수 있다. (Fig. 4, 5).

3. 결론

본 논문에서는 기존 인쇄전자 공정의 선폭 한계를 극복하고자 리버스 오프셋 인쇄에 신축성 블랭킷을 적용한 공정을 제안하고 공정 가능성을 확인하기 위해 신축성 블랭킷 소재를 선정하는 연구를 진행하였다. 신축성이 높은 고무소재인 라텍스, 니트릴, Ecoflx0050과 PDMS소재인 Sylgard184, RT623을 균일한 블랭킷 시트로 제작한 후 전도성잉크를 스핀 코터를 이용하여 코팅하였다. 고무 소재의 경우 스웰링 현상이 심하여 블랭킷으로 적합하지 않았기에 PDMS 계열 소재들을 적용 가능한 후보 물질로 판단하였으며 추가적으로 자외선 조사를 통해 블랭킷에 균일하게 코팅을 할 수 있었다. 제작된 두 종류의 PDMS 블랭킷(Sylgard184, RT623)으로 리버스 오프셋 인쇄가 가능함을 확인하였고 두 PDMS 중 연신율이 더 높은 RT623(연신율 700%)을 본 공정의 블랭킷 소재로 선정하였다. 최종적으로 RT623을 이용하여 리버스 오프셋 인쇄 공정을 수행함으로써 10 μm 이하의 선폭까지 구현 가능함을 확인하였다. 본 연구에서는 직선의 패턴만 이용하여 실험을 진행하였으며 단방향 인장을 진행하여 패턴에 큰 왜곡이 발생하지 않았지만, 실제 인쇄전자 배선으로 활용하기 위해서는 직선 뿐 아니라 수직한 방향으로 왜곡을 해결해야 한다. 이러한 현상은 서로 수직한 두 방향(x, y축 동시 인장) 인장시 해결 할 수 있을 것으로 예상된다. 제안한 고신축성 블랭킷을 이용한 패턴 미세화 공정을 진행하면 수 마이크로 급 이하의 선폭 구현이 가능할 것으로 예상되며 이

는 소자의 소형화 및 제조단가를 낮추는데 기여 할 것으로 기대된다^[22].

후 기

“이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술 평가관리원(KEIT) 연구비 지원(No. 20007064) 및 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업 육성사업(N0002310) 및 2020년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업으로 수행된 연구결과입니다.”

REFERENCES

1. Choi, N., Wee, H., Nam, S., Lavelle, J., and Hatalis, M., "A modified offset roll printing for thin film transistor applications," *Microelectronic engineering*, Vol. 91, pp. 93-97, 2012.
2. Can, T. T. T., Nguyen, T. C., and Choi, W. S., "High-Viscosity Copper Paste Patterning and Application to Thin-Film Transistors Using Electrohydrodynamic Jet Printing," *Advanced Engineering Materials*, Vol. 22, No. 3, pp. 1901384, 2020.
3. Zhang, Y., Wang, S., Li, X., Fan, J. A., Xu, S., Song, Y. M., Choi, K., Yeo, W., Lee, W., Nazaar, S. N., Lu, r. B., Yin, L., Hwang, K., Roger, J. A. and Huang, Y., "Experimental and theoretical studies of serpentine microstructures bonded to prestrained elastomers for stretchable electronics," *Advanced Functional Materials*, Vol. 24, No. 14, pp. 2028-2037, 2014.
4. Ramakrishnan, R., Saran, N., and Petcavich, R. J. "Selective inkjet printing of conductors for displays and flexible printed electronics," *Journal of Display Technology*, Vol. 7, No. 6, pp. 344-347, 2011.
5. Pandey, M., Wang, Z., Kapil, G., Baranwal, A. K., Hirotoni, D., Hamada, K., and Hayase, S., "Dependence of ITO-Coated Flexible Substrates

- in the Performance and Bending Durability of Perovskite Solar Cells," *Advanced Engineering Materials*, Vol. 21, No. 8, pp. 1900288, 2019.
6. Subramanian, V., Chang, P. C., Lee, J. B., Molesa, S. E., and Volkman, S. K., "Printed organic transistors for ultra-low-cost RFID applications," *IEEE transactions on components and packaging technologies*, Vol. 28, No. 4, pp. 742-747, 2005.
 7. Lee, H., Seong, B., Moon, H., and Byun, D., "Directly printed stretchable strain sensor based on ring and diamond shaped silver nanowire electrodes," *Rsc Advances*, Vol. 5, No. 36, pp. 28379-28384, 2015.
 8. Lee, S. K., Young, C. O. and Kim, J. H., "Fused Deposition Modeling 3D Printing-based Flexible Bending Sensor," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol 19, No. 1, pp. 63-71, 2020.
 9. Im, Y. G, Cho, B. H., Chung S. I. and Jeong, H. D., "Development of Build-up Printed Circuit Board Manufacturing Process Using Functional Prototype Fabrication Technology," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 2, No. 2, pp. 14-21, 2003.
 10. Abbel, R., Galagan, Y., and Groen, P., "Roll-to-Roll Fabrication of Solution Processed Electronics," *Advanced Engineering Materials*, Vol. 20, No. 8, pp. 1701190, 2018.
 11. Hübler, A. C., Schmidt, G. C., Kempa, H., Reuter, K., Hamsch, M., and Bellmann, M., "Three-dimensional integrated circuit using printed electronics," *Organic Electronics*, Vol. 12, No. 3, pp. 419-423, 2011.
 12. Nguyen, P. Q., Yeo, L. P., Lok, B. K., and Lam, Y. C., "Patterned surface with controllable wettability for inkjet printing of flexible printed electronics," *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol. 6. No. 6, pp. 4011-4016, 2014.
 13. Sowade, E., Polomoshnov, M., Willert, A., & Baumann, R. R., "Toward 3D-Printed Electronics: Inkjet-Printed Vertical Metal Wire Interconnects and Screen-Printed Batteries," *Advanced Engineering Materials*, Vol. 21, No. 10, pp. 1900568, 2019.
 14. Bevione, M., and Chiolerio, A., "Benchmarking of inkjet printing methods for combined throughput and performance," *Advanced Engineering Materials*, Vol. 22, No. 12, pp. 2000679, 2020.
 15. Kusaka, Y., Fukuda, N., and Ushijima, H., "Recent advances in reverse offset printing: an emerging process for high-resolution printed electronics," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 59, pp. SG0802, 2020.
 16. Zhong, Z., Ko, P., Seok, J. Y., Kim, H., Kwon, S., Youn, H., and Woo, K., "Roll-to-Roll Reverse-Offset Printing Combined with Photonic Sintering Process for Highly Conductive Ultrafine Patterns," *Advanced Engineering Materials*, Vol. 22, No. 10, pp. 2000463, 2020.
 17. Park, J. and Lee, C., "A Statistical Analysis for Slot-die Coating Process in Roll-to-roll Printed Electronics," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 12, No. 5, pp. 23-29, 2013.
 18. Lee, J. and Lee, C., "Analysis of Thermal Effect on Tension of a Moving Web in Roll-to-Roll Printed Electronics," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 12, No. 5, pp. 9-15, 2013.
 19. Yun, Y. H, Jang, S. A. and Oh, Y. J., "Formation of Stretchable Metal Bi-Layer Interconnects using a Deformed Elastomeric Polymer Substrate," *Korean Journal of Metals and Materials*, Vol. 51, No. 2, pp. 151-158, 2013.
 20. Stach, M., Chang, E. C., Yang, C. Y., and Lo, C. Y., "Post-lithography pattern modification and its application to a tunable wire grid polarizer," *Nanotechnology*, Vol. 24, No. 11, pp. 115306, 2013.

21. Choi, Y. M., Lee, E. S., Lee, T. M., and Kim, K. Y., "Optimization of a reverse-offset printing process and its application to a metal mesh touch screen sensor," *Microelectronic Engineering*, Vol. 134, pp. 1-6, 2015.
22. Kravchuk, O., Lesyuk, R., Bobitski, Y., & Reichenberger, M., "Sintering Methods of Inkjet-Printed Silver Nanoparticle Layers," *International Conference on Nanotechnology and Nanomaterials*, pp. 317-339, 2017.