

은 잉크를 이용한 그라비아 오프셋의 전극인쇄에서 닥터링 공정의 영향

최기성¹, 박진석¹, 송정근^{1,a}

¹ 동아대학교 전자공학과

The Effects of Doctoring Process in Gravure Off-set Printing on Patterning of Electrodes with Ag Ink

Ki Seong Choi¹, Jin Seok Park¹, and Chung-Kun Song^{1,a}

¹ Department of Electronics Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

(Received May 8, 2013; Revised May 21, 2013; Accepted May 24, 2013)

Abstract: In this paper, we analyzed the effects of doctoring process on the patterns of Ag ink in gravure off-set printing. The parameters of doctoring process were the angle and the pressure, which was represented by the depth of blade movement to the gravure roll, of doctor blade to the surface of gravure roll, and the angle of patterns engraved on the gravure roll to the doctor blade moving direction. The proper parameters were extracted for the fine patterns and they were 15 mm for the pressure, 60° for the blade angle. And the angle of patterns with respect to the blade movement should be less than 40° for the best results. The gravure off-set printing with the above parameters was carried out to print gate electrodes and scan bus lines of OTFT-backplane for e-paper. The line width of 50 μm was successfully obtained. The thickness of electrodes was 2.5 μm and the surface roughness was 0.65 μm and the sheet resistance was 15.8 Ω/□.

Keywords: Gravure offset printing, Ag ink, Doctor blade

1. 서 론

기존의 진공 증착과 포토 리소그래피를 이용한 전극제작은 복잡한 공정으로 인한 고가의 비용으로 인해 이를 대체 하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

최근 인쇄기술은 간단한 공정 과정, 저렴한 인쇄 시설로 인한 비용 절감, 환경 친화적인 제조 방법으로 인해 많은 관심을 받고 있다. 플라스틱과 같은 고온의 열처리를 할 수 없는 기판을 사용해야 하는 경우 가장 적합한 공정으로 인식되고 있으며 특히 디스플레이 패널 크기의 증가로 기존의 진공 공정에 대한 대안으로 떠오르고 있다 [1-4]. 인쇄 기술로서 잉크젯, 그라비아, 스크린, 플렉소, 오프셋 인쇄 등 다양한 인쇄기술이 각각 장단점을 가지고 있으며 RFID 태그, 센서, 유연성 디스플레이, 태양전지, 전자 종이 등의 전극 제

a. Corresponding author; cksong@dau.ac.kr

작에 다양한 인쇄 공정이 활용되고 있다 [2-11]. 가장 많이 인쇄공정을 적용하는 분야는 전도성 잉크를 이용한 전극인쇄이며, 특히 은 잉크를 이용한 그라비아 인쇄 공정은 수십 μm 선폭에서 가장 우수한 성능을 나타내고 있다 [12,13].

본 논문에서는 은 잉크를 사용하여 그라비아 오프셋 인쇄공정으로 플렉서블 디스플레이용 OTFT-backplane에 사용할 게이트 전극 및 스캐닝 배선 전극의 인쇄에 관한 연구로서 특히 닥터링 공정이 미치는 영향을 분석하였다. 그라비아 롤에 새겨진 패턴에 대한 닥터 블레이드의 진행 방향, 그라비아 롤 표면에 대한 닥터 블레이드의 각도와 압력이 인쇄 패턴에 미치는 영향을 분석하였고, 미세패턴을 얻기 위한 적합한 닥터링 공정변수를 추출하였다.

2. 실험 방법

그라비아 오프셋 인쇄공정은 그림 1과 같이 3단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 닥터링 (doctoring) 단계에서는 음각으로 패턴닝된 그라비아 롤 (GR)에 닥터블레이드(DB)에 의해서 은 잉크가 채워진다.

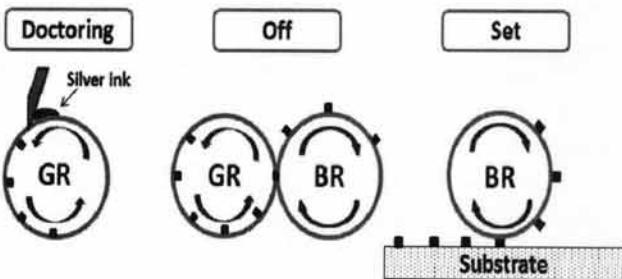


Fig. 1. The conceptual diagram of Gravure off-set printing.

이 단계에서는 DB의 압력, DB와 GR의 각도, DB 진행 방향과 패턴의 각도 등에 의하여 GR 패턴에 잉크가 채워지는 양이 달라진다. 두 번째 오프 (off) 단계에서는 GR에 채워진 은 잉크가 블랑켓 롤 (BR)에 감겨진 블랑켓에 전이되는 과정이다. 여기서는 잉크와 BR과의 접착력 (W_{bi})이 잉크와 GR과의 접착력 (W_{gi})보다 커야 잉크 전이가 양호하게 이루어지며, GR과 BR의 회전 속도, 압력 등이 영향을 미친다. 세 번째 셋 (set) 단계에서는 블랑켓에 전이된 은 잉크가 최종적으로 기판에 전이되는 과정이다. 여기서는 잉크와 기판의 접착력이 (W_{si}) 잉크와 BR과의 접착력 보다

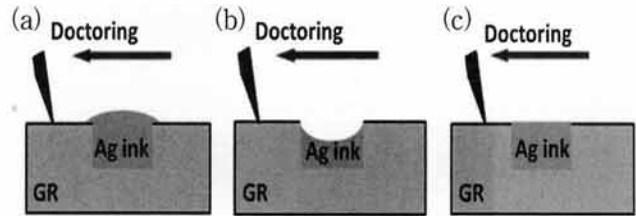


Fig. 2. The filling state of ink in patterns on gravure roll according to the angle and pressure of doctor blade; (a) weak doctoring, (b) strong doctoring, (c) ideal doctoring.

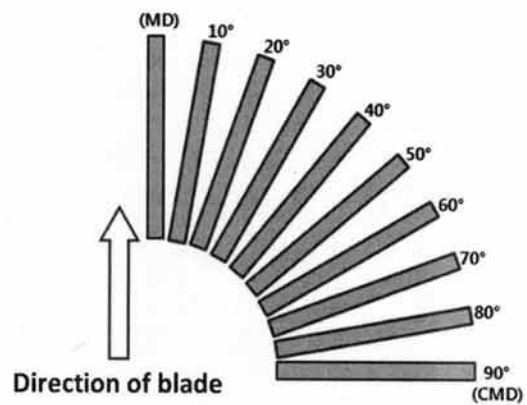


Fig. 3. The various patterns angled to the direction of doctor blade movement; MD direction (the machine direction; the angle is 0°) and CMD (the cross machine direction, the angle is 90°).

커야 하며, BR의 회전 속도 및 압력이 영향을 준다. 따라서 양호한 인쇄 패턴을 얻기 위해서는 잉크와 롤 및 기판과의 접착력 크기의 순서 $W_{si} > W_{bi} > W_{gi}$ 이어야 하고, 각 GR 및 BR의 회전 속도 및 압력을 적절히 조절해야 한다 [14]. 접착력은 사용하는 잉크의 점도와 각 롤의 재질에 의하여 결정되므로 인쇄 전에 이러한 요소를 고려하여 잉크의 점도 및 롤의 재질을 선택해야 한다. 본 연구에서는 은 잉크 (점도 2651.14 cps), 표면에 크롬이 도금된 그라비아 롤, PDMS와 PET 필름이 감겨있는 블랑켓, polycarbonate 플라스틱 기판을 사용하여 실험을 진행하였다. 닥터링 공정에 의하여 GR의 패턴에 잉크 충전 상태가 결정되며, 그림 2(c)와 같이 적절히 충전되었을 때 양호한 인쇄 결과를 얻을 수 있으며, 이것은 DB와 GR과의 각도 및 압력, 그리고 GR에 형성된 패턴과 DB의 진행 방향과의 각도 등의 영향을 받는다.

먼저 DB와 GR과의 적절한 각도 및 압력을 도출하기 위하여 다양한 각도와 압력에 대한 인쇄 결과를 분석하였다. 압력은 DB가 GR에 닿는 지점을 기준으로 DB를 GR 방향으로 더 누르는 깊이로 표현하였고, 그 깊이가 10 mm와 15 mm일 때 잉크 전이량과 인쇄 성능을 관찰하였다. 각도는 각 압력에 대해서 60°부터 70°까지 2.5°씩 증가하면서 잉크 전이량과 패턴의 품질을 분석하였다.

이어서 GR에 형성된 패턴과 DB의 진행 방향과의 각도의 영향을 분석하기 위하여 그림 3과 같이 다양한 방향의 패턴을 제작하였다. DB 진행 방향과 평행한 방향 (machine direction, MD) 즉 0°으로부터 시작하여 10°씩 증가시켜서 수직 방향 (cross machine direction, CMD) 90°까지 패턴을 형성하여 각도와 잉크 전이량 및 선폭과의 관계를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 4에는 DB의 GR에 대한 압력 10 mm일 때 DB의 각도에 대한 잉크 전이량 그래프와 인쇄 패턴 사진을 나타내었다. 각도가 65° 이하이면 삽입 사진에서 보듯이 잉크가 제대로 제거되지 않기 때문에 인쇄공정을 더 이상 진행할 수 없었다. 이것은 그림 2(a)와 같이 DB의 압력이 충분하지 않아서 잉크 제거가 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 65°일 때 전이량은 약 80%로서 가장 우수한 결과를 나타내었으나, 각도가 증가하면 오히려 감소하였다. 이것은 65° 이상의 큰 각도에서는 그림 2(b)와 같이 강한 닥터링이 되면서 그러나 65°에서도 전이량은 80% 정도 이루어졌으나 압력이 10 mm일 때는 기관에 인쇄된 패턴은 그림 4(b)와 같이 불균일하였고, 특히 가장자리가 위로 돌출하는 모습이 뚜렷이 나타났다. 이것은 10 mm에 해당하는 압력이 GR에 충분한 압력을 제공하지 못하여 그림 2(a)와 같이 약한 닥터링이 되었기 때문인 것으로 추정된다.

따라서 압력을 15 mm로 증가하여 동일한 실험을 하였고 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)에서 보듯이 압력이 15 mm로 증가하였을 때 DB의 GR에 대한 각도가 60°부터 잉크가 전이되었으며 전이량은 약 80%되었다. 그러나 각도가 증가함에 따라 그림 2(b)와 같이 강한 닥터링이 발생하면서 전이량은 감소하다. 압력 15 mm와 각도 60°일 때 인쇄 패턴의 사진이 그림 5(b)에 나타나 있다. 가장자리의 돌출부가 발

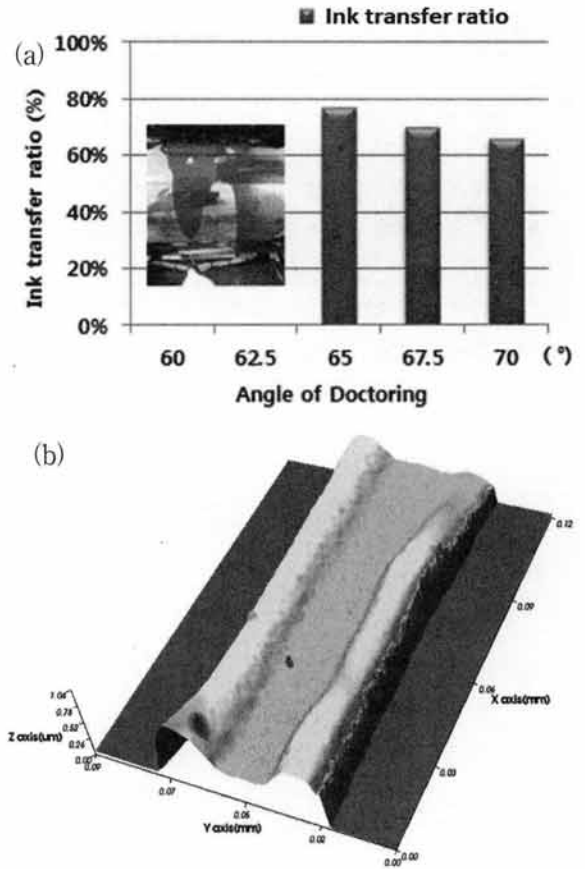


Fig. 4. (a) The transfer ratio of Ag ink to BR from GR according to the angle of DB to GR with the pressure of 10 mm; the inset is the picture of the unremoved Ag ink layer on GR surface when the angle was smaller than 65°, and (b) the picture of the printed pattern when the pressure of 10 mm/the angle of 65°.

생하지 않고 균일한 두께의 인쇄가 이루어짐을 확인할 수 있다. 그러므로 은 잉크를 사용한 그라비아 오프셋 인쇄에서 DB의 GR에 대한 적합한 압력과 각도는 각각 15 mm와 60°인 것으로 판단된다. 상기 실험에서 도출한 DB의 GR에 대한 압력 (15 mm)과 각도 (60°)를 이용하여 DB의 진행 방향과 GR에 형성된 패턴과의 각도에 대한 잉크 전이량과 선폭의 변화를 그림 6에 나타내었다. DB의 진행 방향과 평행한 MD 방향의 패턴의 경우 그림 6(a)에서 보듯이 잉크 전이량은 거의 100%에 가까웠고, 선폭 또한 실제 선폭 85 μm에 가까운 65 μm를 얻을 수 있었다. 그림 6(b)는 MD 방향으로 인쇄된 패턴의 현미경 사진과 3차원 사진을 보여주고 있다. 가장자리가 선명하게 인쇄된 것

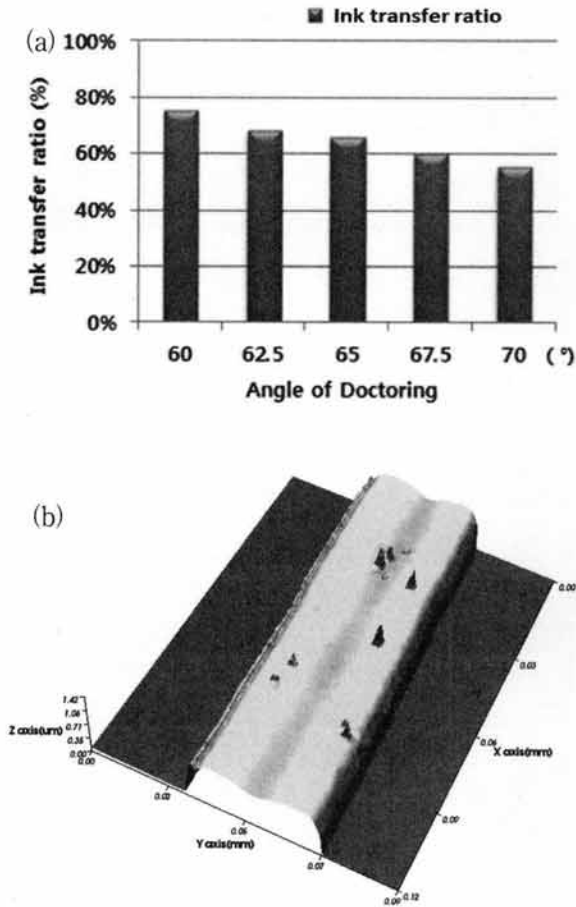


Fig. 5. (a) The transfer ratio of Ag ink to BR from GR according to the angle of DB to GR with the pressure of 15 mm, and (b) the picture of the printed pattern when the pressure of 15 mm/the angle of 60°.

을 볼 수 있고, 전극 전체에 걸쳐서 잉크가 균일하게 인쇄된 것을 볼 수 있다. 그러나 CMD 방향으로 접근할 때 40°까지는 MD 결과와 유사하였으나, 그 이후부터 전이량은 80%로 감소하였고, 선폭은 20 μm로 급격히 감소하였다.

그림 6(c)에서 보듯이 전극이 부분적으로 끊어진 곳이 있고, 또한 3차원 사진에서 보듯이 중간 부분은 잉크가 채워지지 않은 곳도 있었다. 이것은 DB의 길이에 비하여 선폭이 좁고 MD방향으로 길이가 긴 패턴의 경우 그림 2(c)와 같이 이상적인 닥터링이 이루어지고, 반면에 선폭이 길고 MD 방향의 길이가 짧은 패턴은 그림 2b와 같이 강한 닥터링이 되면서 잉크 충전량이 줄어들고 따라서 선폭도 감소하는 것으로 판단된다.

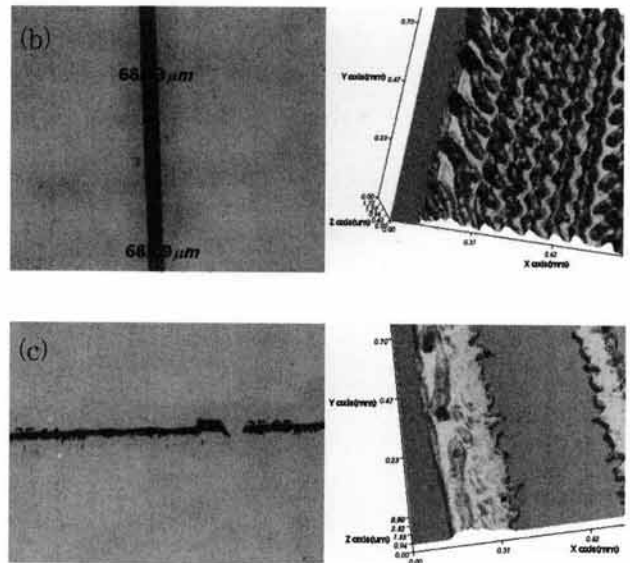
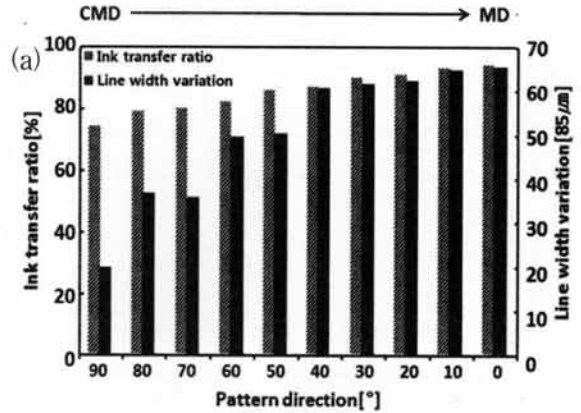


Fig. 6. (a) The ink transfer ratio from GR to BR and the line width of Ag electrodes printed on substrate according to the angle of patterns with respect to the direction of blade movement, (b) the microscope and 3D picture of the Ag electrode printed to the direction of MD, (c) the microscope and 3D picture of the Ag electrode printed to the direction of CMD.

그러므로 선명한 인쇄 결과를 얻기 위해서는 패턴의 방향을 DB 진행 방향에 대해서 40° 이하로 유지하는 것이 바람직하다. 그러나 인쇄 패턴에 따라 이러한 각도를 유지할 수 없는 경우도 있기 때문에 이 방식은 근본적인 해결책이라고 할 수 없으며, 방향과 상관없이 선명한 인쇄를 할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

상기 실험 결과를 바탕으로 은 잉크 사용하여 그라비아 오프셋 인쇄 방식으로 전자종이용 OTFT-backplane (유기박막트랜지스터-하판)의 게이트 전극 및 스캔 버斯拉인을 인쇄하였다.

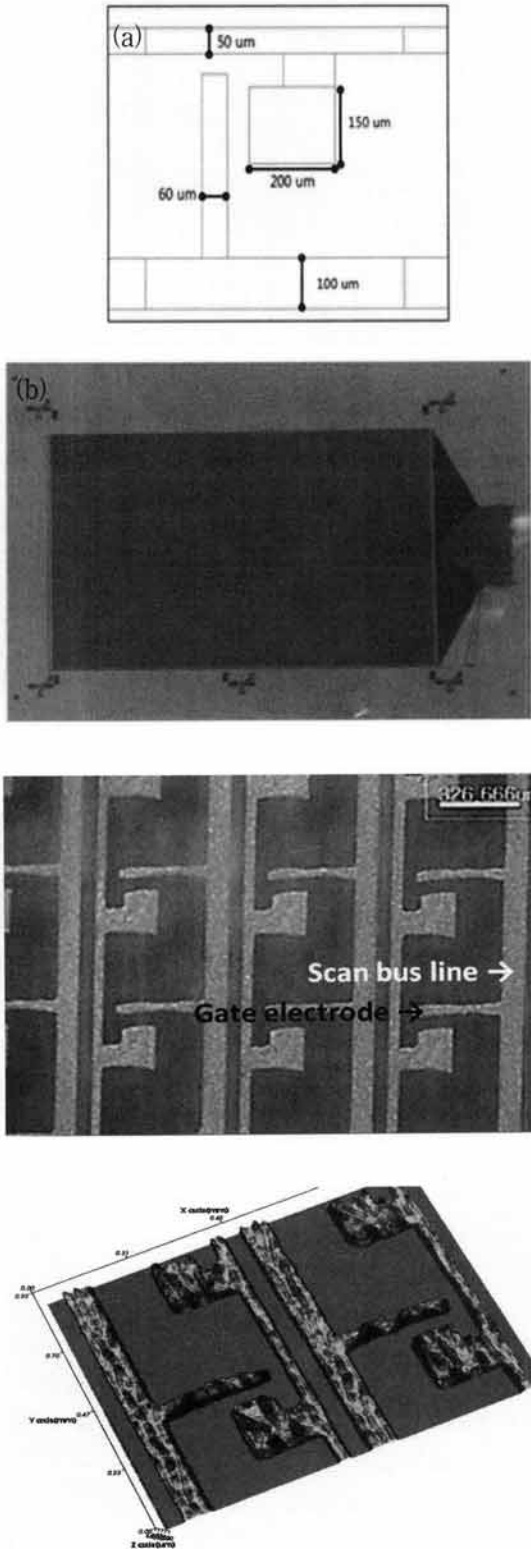


Fig. 7. (a) The layout of a pixel, (b) the picture of the gate electrodes and scan bus lines of OTFT-backplane for e-paper printed by gravure off-set printing.

그림 7에서 보듯이 하판의 크기는 6인치이었고, 픽셀의 수는 가로, 세로 각각 192×150 으로 총 28,800개였다. 게이트 전극의 최소 선폭은 $50 \mu\text{m}$ 이었고, 스캔 버스라인의 최장 길이는 11.6 cm이었다. 그림 7(b)에서 보듯이 게이트 전극은 선명하게 인쇄되었다. 그러나 $60 \mu\text{m}$ 선폭을 갖는 CMD 방향의 전극은 블레이드 방향으로 약간 번져서 인쇄되었음을 볼 수 있다. 전극의 두께는 $2.5 \mu\text{m}$ 이었고, 표면 거칠기는 $0.69 \mu\text{m}$ 이하였으며, 면저항은 $1.57 \Omega/\square$ 이었다.

4. 결론

은 잉크를 사용한 그라비어 오프셋 인쇄에서 닥터 링공정변수 즉 그라비어 롤에 대한 닥터 블레이드의 압력과 각도, 그리고 닥터 블레이드 진행 방향에 대한 전극패턴의 각도에 대한 영향을 분석하였고, 선명한 인쇄를 위한 공정조건을 도출하였다. 점도 2651.14 cps의 은 잉크를 사용할 경우 그라비어 롤에 대한 닥터 블레이드의 압력은 15 mm, 각도는 60° 가 적합하였고, 블레이드 진행 방향에 대한 전극 패턴의 방향 각도는 40° 이하가 적합하였다. 그러나 모든 패턴의 방향을 40° 이하로 제한하는 것은 비현실적이므로 방향과 무관하게 선명한 인쇄를 할 수 있는 기술개발이 필요하다. 상기 결과를 바탕으로 전자종이용 게이트 전극을 그라비어 오프셋으로 인쇄하였고, 선명한 결과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제 (No. 20114030200030-12-1-000)입니다.

REFERENCES

- [1] A. Knobloch, *Proc. of the First International IEEE Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics* (Polytronic 2011, Potsdam, Germany, 2001) p. 84.
- [2] B. Choi, C. Kim, and D. Kim, *Proc. Inst. Mech. Eng.*,

- Part C: J. Mech. Eng. Sci.*, 224, 149 (2010).
- [3] D. Shin, Y. Lee, and C. Kim, *Thin Solid Films*, 517, 6112 (2009).
- [4] C. Kim and Y. Lee, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 12, 161 (2011).
- [5] J. Sidén, M. K. Fein, A. Koptug, and H. Nilsson, *IET Proc. Microwaves, Antennas Propag.*, 1, 401 (2007).
- [6] T. Lee, Y. Choi, S. Nam, C. You, D. Na, H. Choi, D. Shin, K. Kim, and K. Jung, *Thin Solid Films*, 516, 7875 (2008).
- [7] T. Lee, J. Noh, C. Kim, J. Jo, and D. Kim, *Thin Solid Films*, 518, 3355 (2010).
- [8] P. Pesavento, K. Puntambekar, C. Frisbiea, J. McKeen, and P. Ruden, *J. Appl. Phys.*, 99, 4504 (2006).
- [9] Y. Mo, *Trans. KIEE.*, 38, 49 (2011).
- [10] Y. Noh, H. Han, K. Bae, A. Cho, and H. Lee, *The Korean Information Display Society*, 11, 3 (2011).
- [11] H. Klauk, *Chem. Soc. Rev.*, 39, 2643 (2010).
- [12] M. Pudas, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 24, 2943 (2004).
- [13] C. Kim, H. Jeong, E. Heo, B. Lee, B. Yu, B. Lee, H. Kim, and T. Kweon, *Anti-Electromigration of Lead-Free Ag/Frit Modified Address Electrodes in PDPs* (SID'08 Technical Digest, Los Angeles, USA, 2008) p. 190 - 93.
- [14] I. Kim, S. Kwak, K. Kim, T. Lee, J. Jo, J. Kim, and H. Lee, *Microelectron. Eng.*, 98, 587 (2012).