

스크린 인쇄와 리버스 오프셋 인쇄를 혼합한 대면적 미세 전극용 인쇄공정

박지은¹, 송정근^{1,a}

¹ 동아대학교 전자공학과

A Printing Process Combining Screen Printing with Reverse Off-set for a Fine Patterning of Electrodes on Large Area Substrate

Ji-Eun Park¹ and Chung Kun Song^{1,a}

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

(Received December 15, 2011; Revised January 4, 2011; Accepted January 9, 2011)

Abstract: In this paper a printing process for patterning electrodes on large area substrate was developed by combining screen printing with reverse off-set printing. Ag ink was uniformly coated by screen printing. And then etching resist (ER) was patterned in the Ag film by reverse off-set printing, and then the non-desired Ag film was etched off by etchant. Finally, the ER was stripped-off to obtain the final Ag patterns. We extracted the suitable conditions of reverse Using the process we successfully fabricated gate electrodes and scan bus lines of OTFT-backplane used for e-paper, in which the diagonal size was 6 inch, the resolution 320x240, the minimum line width 30 um, and sheet resistance 1 Ω/\square .

Keywords: Reverse offset printing, OTFT, Gate electrodes, Etching resist ink, Screen printing

1. 서 론

기존의 진공 증착과 포토 리소그래피를 이용한 전극제작 공정은 고가의 비용이 들기 때문에 이를 인쇄 공정으로 대체하려는 연구가 활발히 진행되고 있다 [1]. 특히 인쇄공정은 플라스틱과 같이 고온의 열처리를 할 수 없는 기판을 사용해야 하는 경우 가장 적합한 공정으로 인식되고 있다.

RFID 태그, 센서, 유연성 디스플레이, 태양전지, 전자 종이 등의 전극 제작에 다양한 인쇄공정이 활용되고 있다. 인쇄기술로 오프셋, 플렉소, 다이렉트, 잉크젯, 그라비아, 리버스등이 있으며 각각은 장단점을 가지고 있다. 특히 전극제작에 많이 사용되는 그라비아 오프셋 인쇄에 사용하는 인쇄판은 금속의 원통에 크롬

도금을 한 후 다양한 방법의 식각을 통해 패턴이 새겨지기 때문에 대량 생산을 하더라도 패턴이 변하지 않고 인쇄가 가능하다. 최종 인쇄되는 기판의 재질에 제한이 없기 때문에 다양한 소재에 인쇄가 가능한 장점이 있다. 하지만 인쇄판인 금속 원통 전체에 은 잉크를 코팅해야하고 형상화에 사용되지 않은 은 잉크의 재사용이 불가능하므로 고가의 은 잉크가 대량 사용된다는 단점이 있다. 또한, 금속 원통의 형상 안에 채워진 잉크가 기판으로 완전히 전이되지 못해 전면 전이가 불가능하여 연속 인쇄의 어려움이 있다 [2-4].

본 연구에서는 OTFT-backplane용 게이트전극 형성을 위해 대면적 미세 전극을 제작할 수 있는 인쇄공정을 제안하였다. 특히 스크린 인쇄와 리버스 오프셋 인쇄를 결합하여 전극의 두께를 수 십 nm부터 수 um까지 조절할 수 있으며, 선풍은 리버스 오프셋 인쇄

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

의 한계 (수 um)까지 제작할 수 있는 것을 특징으로 한다. 본 공정을 전자종이 용 OTFT-backplane에 적용하여 6인치 크기의 기판에 302×240 해상도의 선폭 30 um의 게이트 전극을 성공적으로 제작하였다.

2. 실험 방법

본 공정은 그림 1에 나타낸 것과 같이 스크린 인쇄, 리버스 오프셋 인쇄, 식각 등 3가지 공정을 결합하여 최종 전극을 인쇄한다. 스크린 인쇄공정에서 전극 막의 두께를 조절하고, ER (etching resist)잉크를 사용한 리버스 오프셋 인쇄공정에서 전극의 선폭을 조절한다.

먼저 스크린 인쇄공정으로 기판 전면에 균일한 두께로 은 잉크를 도포한다. 스크린 인쇄 시, 스크린 인쇄용 은 잉크와 기판과의 접착력을 높이기 위하여 불순물이 제거된 PVP (poly-4-vinylphenol)를 스핀코팅으로 도포 한 후, 110℃에서 10분 200℃에서 20분 열처리하였다. 이 기판 위에 스텐레스 재질의 제판을 사용하여 은 잉크를 스크린 인쇄하였다. 스크린 제판의 크기는 500×500 mm이며, 얇은 막 인쇄를 위해 640의 미세 메쉬(mesh)를 사용하였고, 제판의 감광막 두께는 5 um이었다. 인쇄에 사용한 스퀴지(squeegee)는 검형 타입으로 쇼어 경도가 80° 인 경질의 스퀴지를 사용하였다. 인쇄의 조건은 인쇄 속도 15 mm/s, 도포속도 25 mm/s 이며, 제판과 기판사이의 거리인 이적거리는 2 mm 이었다. 최종 은 잉크 막의 두께는 70 nm이었다. 스크린 인쇄 후, 기판을 200℃에서 30분 경화하여 용제와 첨가제를 증발시킨다 [7].

이어서 ER막을 은 잉크가 인쇄된 기판에 형상화하기 위하여 리버스 오프셋 인쇄공정을 수행한다. 먼저 실리콘 재질의 대면적 블랑켓 위에 ER 잉크를 균일한 두께로 슬릿 코팅한다. 이 때 ER 잉크를 대면적 및 균일한 두께의 막으로 코팅하기 위하여 반드시 점도를 조절해야 한다. ER 잉크를 전면 도포한 블랑켓 롤을 전극 형상이 있는 클리셰 기판에 회전시켜 비화선부의 잉크를 클리셰로 전이하여 블랑켓에 전극 형상을 만든다. 블랑켓 롤을 클리셰에 7 um의 인압을 주어 회전 시킬 때, 회전 속도에 따라 패턴의 특성변화를 관찰하여 적합한 속도를 도출하였다. 사용한 클리셰의 전극 형상은 포토리소그래피 공정으로 제작하였으며, 패턴의 깊이는 약 15 um 이었다.

그리고 블랑켓에 형상화된 ER 잉크 패턴을 은 박

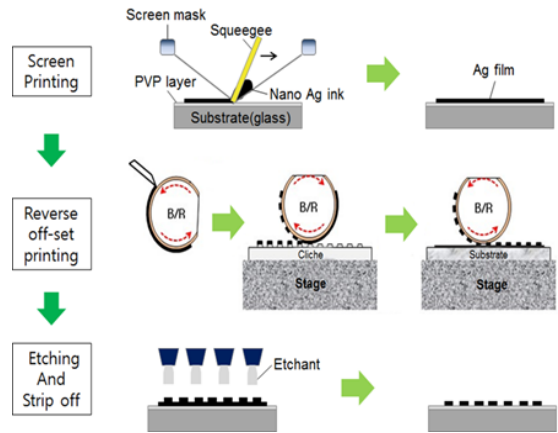


Fig. 1. Fabrication process of reverse off-set printing combining with screen printing for a fine patterning of electrodes on large area substrate.

막이 스크린 인쇄된 기판위에 인쇄한다. 이 때 롤의 회전속도는 20 mm/s 이었으며, 롤의 압력에 따라 인쇄특성의 변화를 관찰하여 적합한 인압을 도출하였다. 인압은 기판과 롤의 간격으로 나타내었다.

마지막으로 ER 잉크가 인쇄된 기판을 90℃에서 30분 경화 후 은 박막을 식각하였고, 이어서 아세톤으로 남아 있는 ER 박막을 제거하여 최종 전극을 제작하였다.

2.1 Etching Resist 잉크 제작

리버스 오프셋 인쇄공정에서 블랑켓에 ER 잉크를 대면적으로 균일한 두께로 코팅하는 것이 중요한 요소이며, 이것은 잉크의 점도와 사용하는 용제에 좌우된다. 용제의 성분이 블랑켓과 호환성이 없으면 반발작용이 일어나서 대면적 코팅이 어렵고, 또한 기포가 발생하면 표면이 균일하지 못하게 되어 일정한 두께의 막을 얻을 수 없다 [8]. 고형분 30 wt.%의 ER 잉크에 9가지의 용제를 사용하여 슬릿 코팅시 대면적 균일 코팅이 가능한 잉크를 선별하는 실험을 하였다. 비점이 다른 용제 PGME 80 A, PGMEA, butanol, butyl cellosolve, 2-ethoxyethyl acetate, ethyl acetate, ECA, BCA, IPA를 잉크와 5 : 5의 비율로 희석하여 슬릿 코팅에 용이하도록 점도를 낮추었다. 그리고 작은 면적 (3 cm × 3 cm)의 블랑켓에 코팅하여 면적에 대한 잉크의 젖음성을 비교하였다.

그리고 적절한 용제를 사용하여 대면적 코팅을 하더라도 막의 표면에 기포가 발생하면 균일한 두께의 막을 얻을 수 없다. 이의 개선을 위해 계면을 평활하게 해주고 표면장력을 낮추어 주는 첨가제 6종 즉 실리콘 계열의 BYK-378, BYK-340, BYK-337, EFKA 3,030와 불소계열의 MEGAFACE F-178 RM, DEFENSA MCF-350 SF를 잉크에 첨가하여 코팅된 면적을 비교하였으며, 이를 통해 블랑켓에 대한 잉크의 대면적 균일 코팅의 가능 여부를 비교하였다.

2.2 Etching Resist 박막 성형 공정

슬릿코팅 된 ER 잉크를 클리셰를 이용하여 형상화를 할 때 ER 잉크와 블랑켓과의 응집력이 클리셰와의 응집력 보다 크면 계면과피가 일어나지 않아 균일한 패턴이 형성되지 않는다 [9,10]. 그리고 블랑켓 롤에 인가하는 인압에 따라 인쇄특성이 달라지고, 점도가 높고 인압이 과도하게 클 경우 블랑켓이 클리셰로부터 떨어질 때 막이 머리카락 모양으로 늘어져서 헤어현상이 발생한다 [11]. 또한 클리셰 형상의깊이 보다 블랑켓의 코팅된 막의 두께가 클 경우 클리셰의 비화선부에도 잉크가 묻어 형상이 형상의 찌그러짐이 발생한다. 따라서 ER 잉크는 블랑켓에 최대한 박막으로 균일하게 코팅되어야한다. 이것은 블랑켓 롤의 회전속도, 도포량, 잉크의 건조 시간의 영향을 받으므로 이러한 공정 파라미터에 대한 인쇄특성을 분석하여 적합한 공정조건을 도출하였다.

롤 회전속도는 5~25 mm/s의 범위에서 5 mm/s의 간격으로 슬릿 코팅 하였으며, 회전속도에 따른 ER 잉크의 두께를 측정하였다. 두께는 블랑켓에 코팅된 ER 잉크를 유리에 전이시켜 3D 프로파일러로 측정하였다. 또, 전체 도포 길이 200 mm에 대하여 롤의 도포속도 10 mm/s 일 때, 도포시간은 20초가 소요되는 동일 조건에서 도포량을 100 ul의 간격으로 변화시켜 잉크 량에 대한 두께의 변화를 측정하였다. 그리고 희석된 잉크 속에는 비점이 낮은 용제가 포함되어있기 때문에 코팅 직후 젖은 상태와, 3분 간 건조 후 막의 두께 차이를 측정하였다.

2.3 블랑켓 롤의 속도와 형상화 특성

균일한 두께로 ER 잉크를 전면 도포한 블랑켓 롤을 전극 형상이 있는 클리셰 기판에 회전시켜 비화선부의 잉크를 클리셰로 전이하여 블랑켓에 전극 형상

을 만들 때, 블랑켓 롤의 회전속도에 따라 형상의 특성이 변한다. 블랑켓 롤의 회전속도가 느리면 클리셰와 블랑켓 롤의 접촉시간이 길어지게 되어 비화선부의 잉크가 클리셰로 완전 전이되지 못하고 블랑켓에 남아있게 된다. 블랑켓 롤의 속도를 변화시키면서 형상화 특성을 분석하여 가장 적합한 속도를 도출하였다. 속도는 25 mm/s, 10mm/s, 5mm/s로 변화시켰으며, 이때의 인압은 7 um 이었다.

2.4 블랑켓 롤의 인압과 인쇄 특성

블랑켓 롤에 형상화 된 ER 패턴을 은 박막이 스크린 인쇄된 기판에 전이할 때 롤에 인가되는 압력에 따라 인쇄특성이 변한다. 즉 인압이 크면 롤의 탈착시 ER 박막이 늘어나서 머리카락 모양의 결함이 발생하고, 인압이 작으면 형상이 전이 되지 않는다. 기판과 롤과의 간격을 변화시키면서 인쇄특성을 분석하여 가장 적합한 인압을 도출하였다. 간격은 0 um에서 20 um 까지 5 um 씩 변화시켰다. 이 때 롤의 회전속도는 20 mm/s 이었다.

3. 결과 및 고찰

적절한 ER 잉크의 제작을 위하여 9가지 용제의 블랑켓에 대한 표면장력을 측정하였다. 그림 2에서 보듯이 EA (ethyl acetate)가 가장 작은 표면장력을 나타내었다. 또한 9가지 용제를 ER잉크와 5:5로 혼합하여 코팅 면적을 비교하였다. 표면장력이 가장 작은 EA가 블랑켓 전체 면적(3 cm x 3cm)에 대해서 가장 넓은 90% 이상의 코팅면적을 나타내었다. 결과적으로 표면장력이 작은 용제가 블랑켓과 젖음성이 우수하여 대면적 코팅에 유리한 특성을 나타내었다.

이 결과를 바탕으로 코팅 면적이 가장 넓게 나왔던 EA 용제를 ER 잉크에 희석하여 20 cm x 20 cm 대면적의 블랑켓에 동일한 코팅 조건과 도포량으로 슬릿 코팅하였다. 그러나 작은 면적 코팅에서는 볼 수 없었던 기포가 그림 3 (a)와 같이 발생하여 균일한 두께로 코팅할 수 없었다. 그래서 계면을 평활하게 해주고 표면장력을 낮추어 주는 첨가제를 첨가하여 표면의 균일성을 관찰하였다. 첨가제로 옥탄올, 톨루엔, 실리콘계 첨가제 BYK-378, BYK-340, BYK-337, EFKA 3,030과, 불소계 첨가제 MEGAFACEF- 178RM, DEFENSA MCF-350SF를 사용하였다. 그 중에서 불소계 첨가제

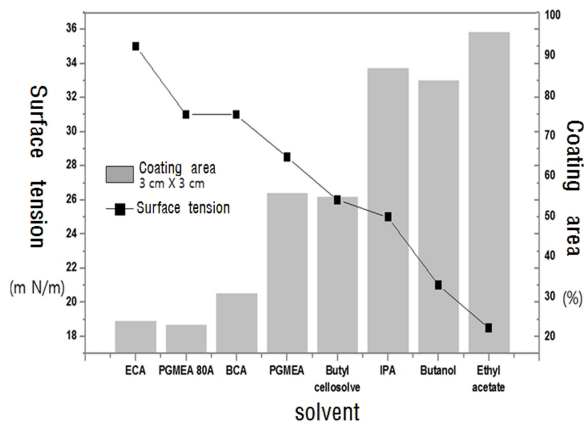


Fig. 2. The graph of coating area with respect to surface tension of solvents used of etching resist(ER) ink.

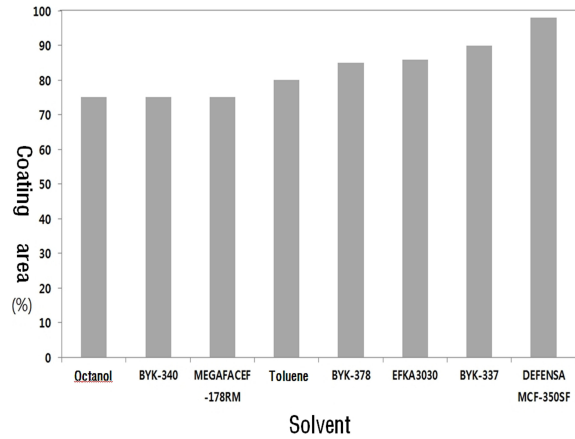


Fig. 4. The coating area of EF film with respect to the various additives added in ethyle acetate.

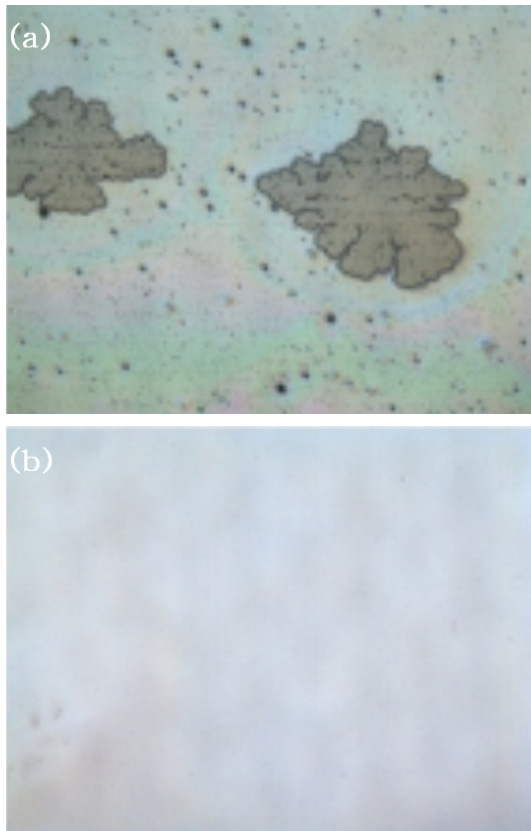


Fig. 3. The surface picture of ER films coated by slit bar (a) without an additive, (b) with DEFENSA MCF-350 SF.

DEFENSA MCF-350SF를 첨가하였을 때 그림 3(b)와 같이 때 기포가 발생하지 않고 깨끗한 막을 얻을 수

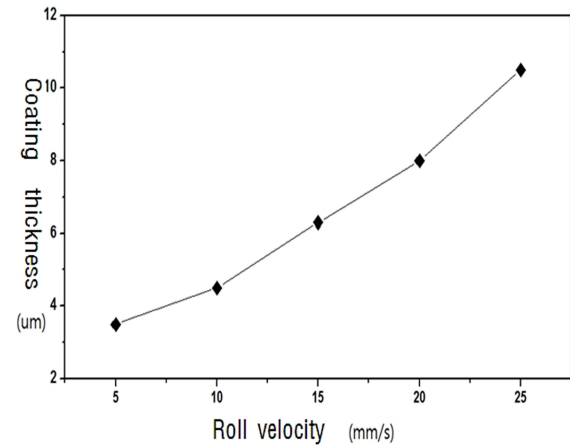


Fig. 5. The thickness of ER film vs. roll velocity (5~25 mm/s) slit coated with 700 ul of ER.

있었고, 코팅 면적도 그림 4와 같이 95% 이상으로 우수하였다.

블랑켓 롤에 ER 막을 코팅할 때 두께는 블랑켓 롤의 회전속도의 영향을 받는다. 일정 양의 ER 잉크를 용기에 넣고 슬릿 다이로 잉크를 토출하면서 블랑켓 롤을 회전하면서 롤에 잉크를 코팅하는데, 정해진 양의 잉크를 정해진 길이의 블랑켓에 코팅하므로 롤의 회전속도가 빠를수록 토출 양이 증가하여 막의 두께가 증가하고, 회전속도가 느릴수록 토출 양이 감소하여 두께가 감소한다. 전술 한바와 같이 잉크 막의 두께가 얇아야 인쇄특성이 우수하므로 적절한 막의 두께를 도출하기 위하여 회전속도에 대한 막의 두께 관계를 그림 5에 측정하였다. 예측한 대로 롤의 회전

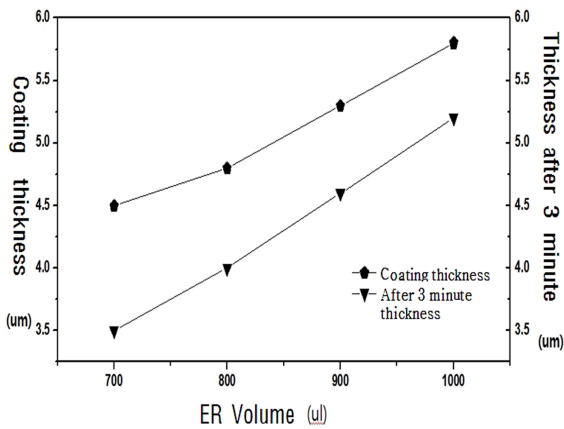


Fig. 6. The thickness of ER film with respect to ER volume for the velocity 10 mm/s of blanket roll.

속도가 작을수록 막의 두께는 감소하였다. 그러나 속도가 10 mm/s 이하에서는 슬릿 다이의 노즐에 충분한 잉크를 도출할 수 없어서 균일한 막을 얻을 수 없었다. 따라서, ER 잉크 700 ul에 대해서 블랑켓 롤의 적절한 회전속도는 10 mm/s이었으며, 이 때 막의 두께는 4.5 um 이었다.

블랑켓 롤에 코팅된 ER 막의 두께는 도포량의 영향도 받으므로 롤 속도를 10 mm/s로 고정 후 도포량의 변화에 대한 막의 두께를 그림 6에 측정하였다. 도포량이 증가할수록 막의 두께는 증가하였다. 그러나 700 ul 이하에서는 두께는 감소하였으나 균일한 전면 도포는 할 수 없었다. 그리고 클리쉐에 인쇄하기 전에 ER 막의 3분 정도 건조시키면 그림 6과 같이 두께는 3.5 um로 감소하였고 인쇄특성도 개선되었다. 결론적으로 면적 20 cm × 20 cm 블랑켓 롤에 ER 잉크를 도포할 시 잉크 양 700 ul, 블랑켓 롤 회전속도 10 mm/s 로써 두께 3.5 um의 균일한 ER 막을 얻을 수 있었다.

블랑켓 롤에 균일하게 코팅된 ER 막을 클리쉐를 통하여 형상화 할 때 블랑켓 롤의 회전속도와 압력에 따라 형상의 특성이 달라진다. 압력은 롤이 클리쉐와 접촉하는 위치를 기준으로 클리쉐 방향으로 롤을 눌러주는 깊이로 나타낸다. 적합한 압력의 값은 ER 막의 두께에 따라 다르며, 막의 두께가 3.5 um 일 때 압력은 7 um가 적합하였다.

압력은 이 값으로 고정하고 롤의 회전속도에 따른 변화를 관찰하였다. 회전속도가 20 mm/s일 때 롤이 빨리 탈착되면서 그림 7에서 보듯이 ER 잉크가 늘어

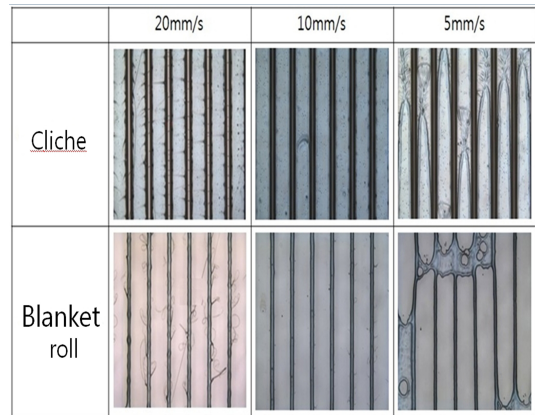


Fig. 7. The patterns on cliche and blanket roll with respect to roll velocity.

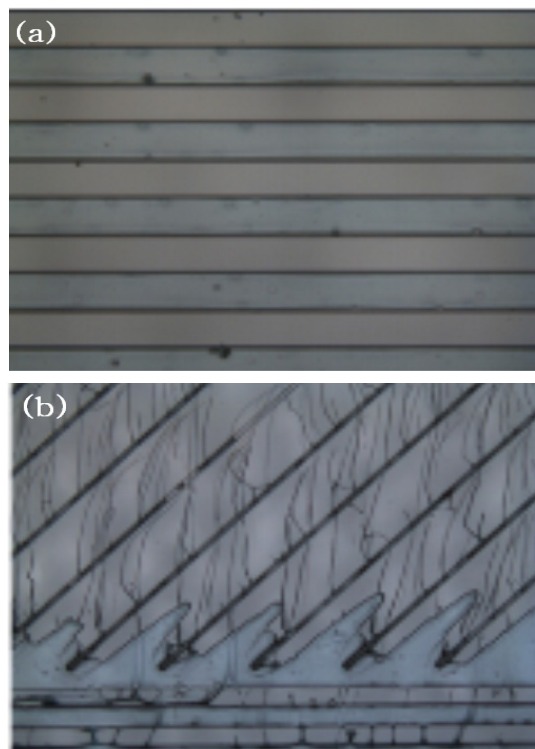


Fig. 8. The patterns of ER printed on Ag film with respect to roll pressure, which is presented by depth pressed by roll, (a) for the depth of 10 um, (b) for 20 um, the roll velocity was fixed with 20 mm/s.

지는 현상이 발생하였고, 회전속도가 5 mm/s와 같이 느리면 비회전부에도 롤의 압력이 인가되어 잉크의 일부가 인쇄됨으로써 깨끗한 형상을 얻을 수 없었다.

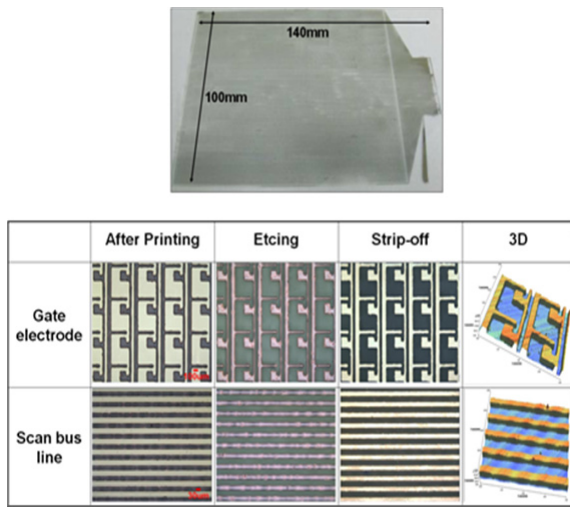


Fig. 9. The gate electrodes of OTFT-backplane printed by the printing method developed in this paper; size-6", number of pixels-320x240, minimum line feature size-30 um, sheet resistance-1 Ω/□.

적합한 회전속도는 약 10 mm/s 였고, 이 경우 그림 7에서 보듯이 클리셰 뿐 아니라 블랑켓 롤에도 가장 선명한 형상을 인쇄할 수 있었다. 따라서 클리셰 인쇄 시 ER 막의 두께가 3.5 um일 때 롤의 압력은 7 um, 그리고 회전속도는 10 mm/s가 가장 우수한 결과를 나타내었다.

블랑켓 롤에 인쇄된 형상은 은 박막이 스크린 인쇄된 기판에 접촉 회전하여 전이할 때 인쇄특성 역시 블랑켓 롤의 압력과 회전속도에 따라 변한다. 회전속도에 대한 변화는 크지 않았기 때문에 회전속도는 20 mm/s로 고정하고 압력을 변화시키면서 인쇄특성을 관찰하였다. 압력 역시 롤과 기판이 접촉하는 위치를 기준으로 더 눌러주는 깊이로 나타낸다. 압력 즉 깊이를 0 um에서 5 um 씩 증가시키면서 인쇄특성을 관찰하였다. 압력이 전혀 가해지지 않은 영점에서는 블랑켓에 남겨진 패턴이 떨어지지 않았다. 압력을 5 um 씩 증가하며 가해주었을 때 10 um의 압력에서 그림 8(a)와 같이 깨끗하게 패턴이 기판으로 전이 되었다. 하지만 압력을 10 um 이상으로 인가했을 때는 그림 8(b)와 같이 실타래 현상이 점차 심하게 나타났다. 따라서, 블랑켓 롤의 형상을 기판에 인쇄할 때 회전속도 20 mm/s에 대해서 압력 10 um가 가장 적합한 것으로 나타났다.

이렇게 ER 형상을 기판에 인쇄한 후 90°C에서 30분

동안 경화하고 은 박막 식각 용액으로 식각하였다. 이어서 아세톤에 20초 동안 ER 잉크를 제거 하여 최종 전극을 제작하였다.

그림 8에서 보듯이 6인치 크기의 OTFT-backplane의 게이트 전극(320x240 해상도)의 형상이 명확히 인쇄되었으며, 선폭 30 um의 미세 배선라인도 정확히 인쇄되었다. 전극의 면저항은 1 Ω/□로 전극으로써 부족함이 없었다.

4. 결론

스크린 인쇄와 리버스 오프셋 인쇄를 결합한 대면적 미세 전극 인쇄공정을 개발하였다.

먼저 스크린 인쇄공정으로 기판 전면에는 은 잉크를 코팅한다. 은 잉크의 점도를 조절하여 70 nm 두께의 은 박막을 20 cm x 20 cm 기판에 균일하게 코팅할 수 있었다.

이어서 리버스 오프셋 인쇄로 ER 잉크를 블랑켓 롤에 균일하게 코팅한다. ER 잉크에 ethyle acetate 용제와 불소계 DEFENSA MCF-350SF 첨가제를 사용하여 대면적 균일 코팅이 가능하도록 제작하였고, 면적 20 cm x 20 cm 블랑켓 롤에 ER 잉크를 도포할 시 잉크 양 700 ul, 블랑켓 롤 회전속도 10 mm/s 로써 두께 3.5 um의 균일한 ER 막을 얻을 수 있었다.

그리고 블랑켓 롤의 균일한 ER 막을 클리셰를 통하여 전극 형상을 인쇄한다. 인쇄특성은 블랑켓 롤의 압력과 롤의 회전속도에 좌우되며, ER 막의 두께가 3.5 um 일 때 롤의 압력은 7 um, 그리고 회전속도는 10 mm/s가 가장 우수한 결과를 나타내었다.

마지막으로 블랑켓 롤의 형상을 기판에 인쇄할 때 회전속도 20 mm/s에 대해서 압력 10 um가 가장 적합한 것으로 나타났다.

본 인쇄기술을 적용하여 OTFT-backplane의 게이트 전극을 인쇄하였다. 6인치 크기의 기판에 해상도 320x240 게이트 전극을 명확히 인쇄하였으며, 선폭 30 um의 배선라인도 정확히 인쇄되었다. 전극의 면저항은 1 Ω/□로써 전극으로써 부족함이 없었다.

감사의 글

본 논문은 동아대학교 2010학년도 교내연구비 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

- [1] K. J. Baeg, S. W. Jung, J. B. Koo, I. K. You, and B. G. Yu, *Trend Analysis of Electronic and Communication*, **25**, 33 (2010).
- [2] D. S. Kim and T. M. Lee, *J. Korean Soc. Mech. Eng.*, **46**, 38 (2006).
- [3] T. M. Lee, T. G. Kang, J. S. Yang, J. D. Jo, K. Y. Kim, B. O. Choi, and D. S. Kim, *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, **31**, 202 (2008).
- [4] T. M. Lee, T. G. Kang, J. S. Yang, J. D. Jo, K. Y. Kim, B. O. Choi, and D. S. Kim, *J. Manuf. Sci. and E-T ASME*, **130**, 031113 (2008).
- [5] LG Display, Conference on *Printed Electronics Europe*, Germany (2010).
- [6] X. Yin and S. Kumar, *Phys. Fluids.*, **17**, 063101 (2005).
- [7] M. Y. Lee, M. W. Lee, J. E. Park, J. S. Park, and C. K. Song, *Microelectron. Eng.*, **87**, 1922 (2009).
- [8] B. J. Ahn, K. J. Han, and S. L. Ko, *J. Korean Soc. Mech. Eng.*, **34**, 263 (2010).
- [9] W. Shen, Y. Mao, G. Murray, and J. Tian, *J. Colloid Interf. Sci.*, **318**, 348 (2008).
- [10] M. Pudas, J. Hagberg, and S. Leppävuori, *Int. J. Electron.*, **92**, 251. (2005)
- [11] M. Pudas and J. Hagberg, *Int. J. Electron.*, **92**, 251 (2005).
- [12] J. Seo and Y. H. Han, *Machine and Material, KIMM*, 39 (1999).
- [13] X. Yin and S. Kumar, *Chem. Eng. Sci.*, **61**, 1146 (2006).
- [14] B. J. Ramsey, P. S. A. Evans, D. Harrison, *Journal Electronic Manufacturing*, **7**, 63 (1997).
- [15] B. O. Choi, D. S. Kim, D. S. Lee, T. M. Kim, C. H. Lee, M. H. Kim, and K. J. Lim, *J. Korean Soc. Mech. Eng.*, **46**, 67 (2006).
- [16] C. H. Kim, T. M. Lee, D. S. Kim, and B. O. Choi, *J. Korean Soc. for Prec. Eng.*, **24**, 74 (2007).