

논문 2011-48SD-6-2

대면적 미세 금속전극 인쇄를 위한 원통형 마이크로 접촉 인쇄공정

(Roll-type Micro Contact Printing for Fine Patterning of Metal Lines on Large Plastic Substrate)

김 준 학*, 이 미 영*, 송 정 근**

(Jun-Hak Kim, Mi-young Lee, and Chung-Kun Song)

요 약

본 논문은 PDMS(polydimethyl siloxane) 스탬프를 이용한 원통형 마이크로 접촉인쇄(roll-type micro-contact printing)에 관한 것으로 대면적 플라스틱 기판에 미세 금속 전극 인쇄를 PDMS 스탬프의 평탄화, 은 나노 잉크의 은 함량, 공정변수인 코팅속도, 잉킹속도, 프린팅속도, 프린팅 압력을 조절하여 가장 우수한 인쇄특성을 나타내는 조건을 도출하였다. 그 결과 면적 $4.5\text{cm} \times 4.5\text{cm}$ 기판에 최소선폭 10 μm , 두께 300 nm, 표면거칠기 40 nm 이하, 비저항 $2.08 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 특성을 갖는 은 미세 전극을 인쇄하였다.

Abstract

This paper is related to a roll-type micro-contact printing process. The proper parameters such as coating velocity, inking velocity, printing velocity and printing pressure as well as Ag contents of Ag ink were extracted to perform the fine patterning of Ag electrodes. Additionally we developed a process for PDMS with high uniform thickness. Finally, we obtained the Ag fine electrodes on $4.5\text{cm} \times 4.5\text{cm}$ plastic substrate with the line width of 10 μm , thickness less than 300 nm, surface roughness less than 40 nm, and the specific resistance of $2.08 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$.

Keywords : 원통형 마이크로 접촉인쇄, 대면적 인쇄공정, 미세 금속전극 인쇄공정, PDMS 스탬프

I. 서 론

최근 디스플레이 분야에서는 플라스틱 기판을 기반으로 초저가공정과 대면적화를 실현하기 위하여 인쇄공정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1~2] 마이크로 접촉인쇄 (micro-contact printing)는 PDMS 스탬프를 이용한 인쇄 공정으로서 패터닝을 직접 도장 찍듯이 인쇄할 수 있기 때문에 공정이 간단하여 초저가공정 및 대면적 공정에 장점이 있어서 여러 분야에 응용되고 있

다. CNT성장과 관련된 연구^[3]와 MEMS 연구에 이용되기도 하고^[4], 생명공학과 관련된 분야에서도 PDMS 스탬프를 이용한 마이크로 접촉인쇄공정이 이용되고 있다.^[5~6] 또한 유기박막트랜지스터의 게이트와 소스 및 드레인 전극 형성에 대한 연구에 응용되고 있다.^[7]

기존의 평판 마이크로 접촉인쇄공정은 스탬프의 두께 오차가 크고, 인쇄공정시 스탬프 전면에 균일한 압력을 인가하기 어려우며, 스탬프와 기판 사이에 존재하는 기포 때문에 대면적 및 미세 선폭 인쇄 측면에서 불리한 점이 있다.^[8~11] 그리고 스탬프의 잉크를 기판으로 완전히 전이할 수 없기 때문에 인쇄물의 표면이 거칠어 응용에 제한이 있다.^[12]

이러한 단점을 보완하기 위해 스탬프와 기판을 UV

* 학생회원, ** 정회원, 동아대학교 전자공학과

(Dept of Electronics Eng., Dong-A University)

※ 이 논문은 2010학년도 동아대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음.

접수일자:2010년12월14일, 수정완료일:2011년5월23일

혹은 특정 단분자층을 자기정렬공정 (SAM ; Self - Aligned Monolayer)으로 도포하는 등 다양한 표면처리 방법이 연구되고 있다.^[13~15] 그리고 스탬프를 롤에 감은 원통형 (roll-type) 마이크로 접촉인쇄공정은 균일한 압력 인가와 기포 문제를 해결하는 방법으로 연구되고 있다.^[16~17] 특히 디스플레이 분야에서는 전극을 인쇄공정으로 형상화하기 위하여 금속을 전면 진공증착하고, 에칭 레지스터를 마이크로 접촉인쇄공정으로 선택적 도포 후 식각하는 방법을 사용하고 있다.^[18~21]

이 연구에서는 전술한 진공증착, 에칭 레지스터의 인쇄, 식각, 표면처리 등의 복잡한 공정을 배제하고 은나노 잉크 (Ag ink)를 사용하여 원통형 마이크로 접촉인쇄공정의 공정변수와 잉크의 은의 함량 등을 최적화하여 은 잉크의 완전 전이를 실현함으로써 플라스틱 기판에 대면적 미세 전극을 직접 인쇄하였다.

II. 실험

금속잉크로서 친수성계 계면활성제가 코팅된 직경 30 nm의 은나노 입자를 고비점 용제인 터피네올 (terpineol; b.p:214~220°C)에 70 wt%로 분산시킨 은잉크를 사용하였다. 원통형 마이크로 접촉인쇄공정은 그림 1과 같이 은잉크를 유리기판 전면에 도포하는 코팅공정, 도포된 은잉크를 선택적으로 스탬프에 전이하는 잉킹공정, 스탬프의 잉크를 기판에 전이하는 인쇄공정의 세 단계로 나누어진다.

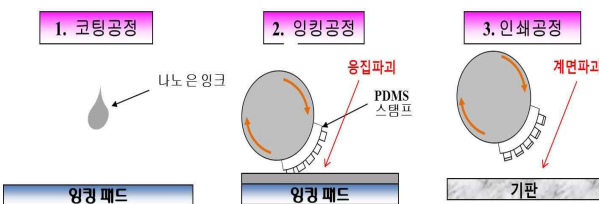


그림 1. 원통형 마이크로 접촉인쇄공정의 순서도
Fig. 1. The process of roll-type micro-contact printing.

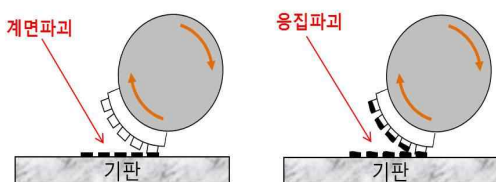


그림 2. 계면파괴와 응집파괴의 개념도
Fig. 2. The conceptual diagram of the interfacial failure and cohesive failure.

각 공정별 잉크전이는 잉킹공정의 경우 응집파괴에 의한 잉크전이를 이용하였고, 인쇄공정에서는 계면파괴에 의한 잉크전이를 이용하였다. 그림 2는 응집파괴와 계면파괴에 대한 개념을 나타내고 있다.

계면파괴의 경우 기판에 형성된 잉크막을 100% 전이시키는 개념이고, 응집파괴는 형성된 잉크막에서 일부를 전이시키는 개념이다. 잉킹공정의 경우는 PDMS 스탬프와 은 잉크의 접착력이 잉크와 기판사이의 접착력보다 크기 때문에 100% 잉크전이가 어렵다. 그러므로 응집파괴에 의한 잉크전이를 통하여 충분한 잉크 전이량을 갖기 위한 실험을 진행하였다. 인쇄공정의 경우는 PDMS 스탬프와 은 잉크의 접착력보다 잉크와 기판사이의 접착력이 크고 전극으로 사용하기 위해서는 표면 거칠기가 좋아야 하기 때문에 잉크막 사이의 끊어짐이 없는 100% 잉크전이를 위한 계면파괴를 이용하였다.

먼저 평탄한 PDMS 스탬프를 제작하기 위한 공정조건을 도출하고, 이 공정으로 제작한 스탬프를 이용하여 우수한 인쇄특성을 나타내는 인쇄 공정조건을 도출하였다.

1. PDMS 스탬프 제작

마스터로 유리 기판에 포토레지스터 (PR)를 형상화한 PR마스터와 실리콘 기판에 식각공정으로 형상화한 Si 마스터 두 종류를 사용하여 성능을 비교하였다. 일반적으로 마스터의 화선부의 높이는 5 um 정도이나 패턴 사이의 간격이 넓을수록 그리고 대면적일 수록 비화선부에도 잉크가 묻게 되어 양호한 인쇄 형상을 얻기 위하여 본 연구에서는 화선부의 높이를 15 um 이상으로 제작하였다. PR 마스터의 화선부의 높이는 16 um 이었고, Si 마스터의 화선부의 높이는 15 um 로서 비화선부의 잉크 묻음현상을 제거할 수 있었다.

스탬프의 평탄도는 인쇄 전극의 품질을 결정하는 중요한 요소이므로 평탄한 스탬프를 제작하기 위하여 전술한 마스터에 다음과 같은 두 가지 방법으로 스탬프를 제작하여 결과를 비교하였다. 첫째, PDMS와의 접착력이 작은 테프론 용기를 마스터 위에 올려놓고 용기에 PDMS 용액을 마스터 위로 주입하여 테프론 용기의 끝부분까지 채운다. 용기위의 잔여 PDMS 용액을 독터블레이드(doctor blade)를 이용하여 긁어냄으로서 PDMS 용액의 두께를 균일하게 하였다.

두 번째 방법은 PDMS용액의 점도를 낮추어 경화과정에서 중력에 의한 용액의 자발적인 평탄화 과정을 이

용하는 것이다. PDMS를 점도를 낮추기 위하여 방향족 용제를 사용하였다. 용제를 결정하는 중요한 요소는 용제의 비점이 경화온도 120 °C와 비슷해야 한다는 것이다. 만약 비점이 낮은 용제를 사용하면 용제가 섞이기도 전에 경화가 일어날 수 있고, 비점이 너무 높으면 불순물이 경화과정에서 증발하지 못해서 스탬프의 평탄도가 균일하지 않을 수 있다. 본 실험에서는 비점이 110 °C의 방향족 용제인 톨루엔을 사용하였다. PDMS 스탬프는 마스터에 Sylgard 184A와 184B를 10 : 1의 비율로 혼합하여 붓고 기포제거 공정을 거친 후 120 °C에서 경화시켜 제작하였다. 톨루엔의 함량은 주 재료인 Sylgard 184A에 대한 질량비로 결정하였으며, 10 : 1, 10 : 2, 10 : 3의 비율로 제작하여 인쇄된 면적의 비교를 통하여 가장 적합한 톨루엔 질량비를 결정하였다.

각 스탬프의 두께 평탄도는 스탬프의 9군데 위치에서 두께를 마이크로미터로 측정하여 평균값과 표준편차를 계산하여 비교하였다.

2. 원통형 마이크로 접촉인쇄공정

위의 방법으로 제작된 PDMS 스탬프를 사용하여 우수한 인쇄특성을 얻을 수 있는 공정변수를 도출하였다.

은 잉크의 접착력은 PDMS 보다 유리에 더 크기 때문에 유리 기판에 코팅된 은 박막을 스탬프로 완전히 전이하는 것은 불가능하다. 그러나 스탬프에 전이된 은 박막의 두께가 충분해야 최종 인쇄 전극의 품질을 보장할 수 있기 때문에 코팅공정에서 충분한 양의 은을 전이할 수 있는 은 박막의 적합한 두께를 도출해야 한다. 스핀코팅으로 은 잉크를 코팅하였으며, 스핀코팅 속도를 변화시키면서 은 박막의 최종 전이율을 측정하여 가장 큰 전이율을 얻을 수 있는 스핀코팅속도를 도출하였다.

잉킹공정과 인쇄공정에서는 롤의 회전속도에 따라 은 박막의 전이율이 달라지므로 최적의 롤 속도를 도출하기 위하여 롤 속도를 25 mm/s 에서 200 mm/s 로 변화시키면서 전이율을 측정하였다.

이렇게 도출한 공정조건을 바탕으로 금속전극의 전도성 및 전이율을 극대화할 수 있는 은 잉크의 함량을 도출하였다. 은의 함량에 따라 인쇄특성이 변하므로 은 함량에 대한 은 잉크의 전이율을 측정하였고, 특히 선 폭의 크기에 따른 전이율의 변화를 분석하였다. 인쇄압력의 경우는 잉킹공정의 압력과 동일한 압력으로 인쇄할 경우와 잉킹공정에서의 압력보다 인쇄공정에서의 압

력을 더 가했을 경우의 인쇄물의 인쇄결과를 바탕으로 비교하였다.

III. 결 과

1. PDMS 스탬프 평탄화

PDMS 스탬프의 주 재료인 Sylgard 184A에 대한 톨루엔의 질량비 변화(10 : 1, 10 : 2, 10 : 3)에 따른 인쇄 면적비율을 그림 3에 나타내었다. 톨루엔 질량비 10 : 2의 경우 인쇄면적비가 75 %로서 가장 우수하였다. 용

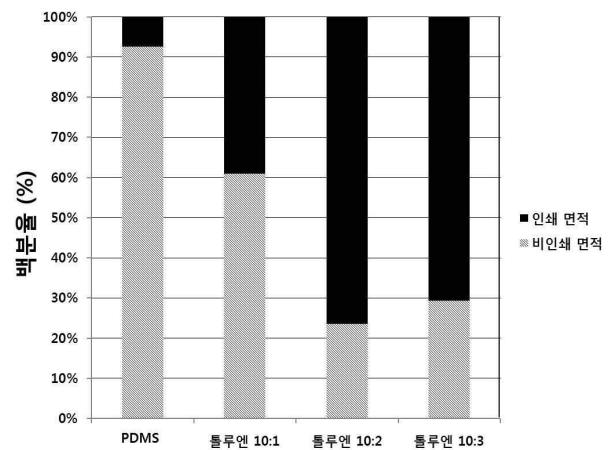


그림 3. PDMS의 주요 재료인 Sylgard 184A에 대한 톨루엔의 질량비 변화에 의한 인쇄 면적비율 (전체 면적 5.5cm × 5.5cm 기준)

Fig. 3. The ratio of printing area to the total substrate area according to the mass variation of toluene with respect to Sylgard 184A. (the total area is 5.5cm × 5.5cm).

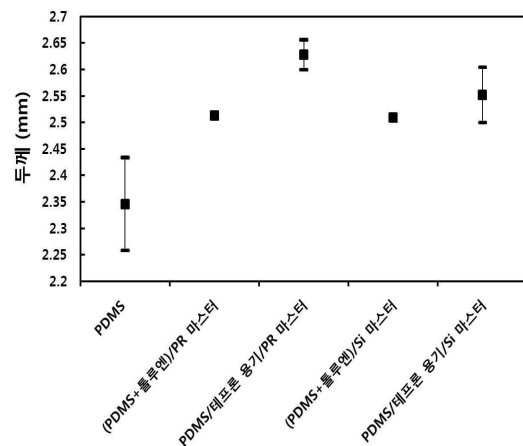


그림 4. 다양한 PDMS 스탬프 제작법과 마스터로 제작한 스탬프의 두께 비교 그래프

Fig. 4. The thickness comparison of PDMS stamp made by the various stamp masters.

제 비율 10:3은 10:2와 비슷한 면적비를 나타내었으나 상대적 점도가 다소 떨어져 전이율의 편차가 크게 나타났다. 이후의 실험은 톨루엔 질량비 10:2를 혼합한 PDMS를 사용하였다.

기존 방식으로 제작한 PDMS 스탬프와 전 절에서 설명한 두 종류의 마스터 및 두 종류의 스탬프 제작 방법으로 제작한 스탬프 등 총 5가지 스탬프의 평탄도를 그림 4에 비교하였다.

기존의 PDMS 스탬프의 경우 평균 2.346mm 두께에 표준편차 $\pm 0.087\text{mm}$, 테프론 용기를 이용한 경우 PR마스터와 Si마스터 각각 평균 2.627mm, 2.552mm 두께에 표준편차 $\pm 0.028\text{mm}$, $\pm 0.052\text{mm}$ 를 나타내었다. 마스터의 종류에 상관없이 톨루엔을 첨가하여 PDMS의 점도를 낮춘 스탬프의 평탄도가 평균 2.509mm 두께에 표준편차 $\pm 0.003\text{mm}$ 로써 가장 우수하였다.

이것은 기계적 방식에 의한 강제적인 평탄화보다 증력에 의한 자연스러운 평탄화 방식이 효과적임을 알 수 있다. PDMS용액을 틀에 주입하고 경화시키는 과정을 거치게 되면 PDMS 스탬프의 가장자리부분은 스탬프의 가운데 부분에 비해 평탄도가 낮을수 밖에 없다. 결국 PDMS 스탬프의 가장자리 부분을 제외한 스탬프 가운데 부분의 평탄도를 높이는 문제인데 강제적인 방법보다는 자연적인 평탄화 방식이 조금더 개선된 평탄도를 나타내는 결과를 보였다. 이러한 결과는 실제 인쇄공정을 통한 인쇄물의 결과를 통해서 뚜렷하게 확인할 수 있었다.

그림 5는 제작된 PDMS스탬프의 화선부의 3D 프로파일러 사진이다. 화선부의 두께는 16 μm 이고 최소선 폭 5 μm 까지 균일하게 제작된 것을 확인할 수 있다. 스탬프의 전체 면적은 12cm x 12cm 이고 균일하게 인쇄가 가능한 면적은 미세패턴의 경우 4.5cm x 4.5

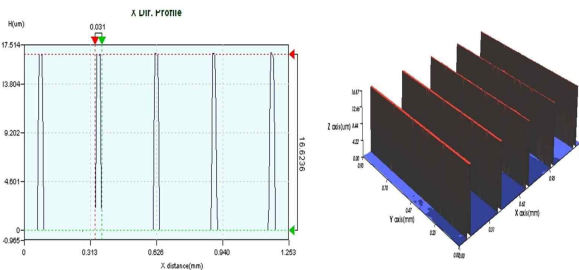


그림 5. 톨루엔(10:2)을 첨가제로 사용한 PDMS 스탬프의 3D 프로파일러 사진

Fig. 5. The photograph of 3D profiler of the PDMS stamp made of toluene(10:2) as an additive.

표 1. 기존의 PDMS 스탬프와 톨루엔을 첨가한 PDMS 스탬프의 시간에 따른 나노 은 잉크의 접촉각 변화

Table 1. The variation of contact angle of Ag ink on the conventional PDMS stamp and the toluene added PDMS stamp with respect to time.

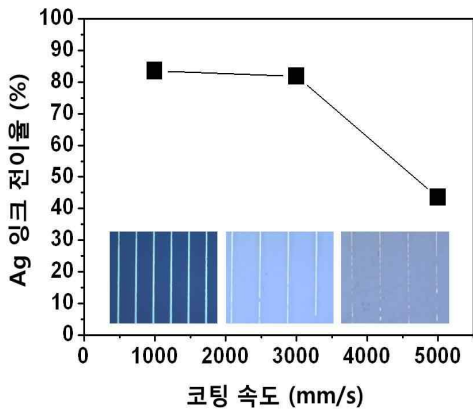
스탬프 \ 접촉각	초기	2분후
PDMS 스탬프	61.40°	46.36°
톨루엔 첨가 PDMS 스탬프	62.31°	60.09°

cm 면적, 단위소자의 경우는 7cm x 7cm이상의 면적이 균일한 인쇄가 가능하였다.

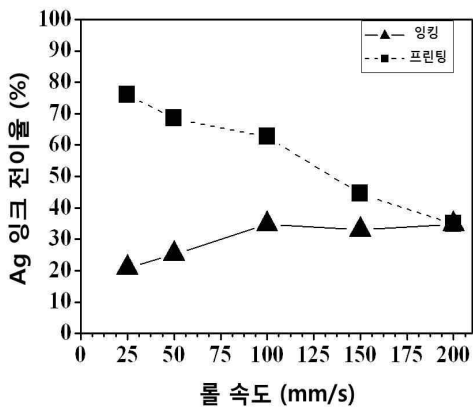
또한 물을 이용한 접촉각 측정 결과 기존의 PDMS 스탬프의 접촉각은 97.53°, 톨루엔이 첨가된 PDMS 스탬프의 접촉각은 98.11° 로서 톨루엔에 의한 표면성질의 변화는 나타나지 않았다. 그러나 은 잉크의 접촉각은 표 1에서 보듯이 다소 차이를 보였는데 특히 기존 PDMS의 경우 은 잉크 도포 후 2분이 지나면 접촉각이 61.4°에서 46.36°로 감소하였다. 이것은 시간이 지나면서 잉크의 용제가 스탬프에 스며들기 때문이다. 그러나 톨루엔이 첨가된 스탬프는 시간이 지나더라도 초기의 접촉각 62.31°에서 크게 변하지 않았다. 이러한 특성은 연속 인쇄공정에서 톨루엔이 첨가된 스탬프가 유리하다는 것을 암시한다.

2. 공정 변수 최적화

공정변수 최적화의 최종 목표는 잉크 전이율의 향상이다. 그림 6(a)는 코팅막 두께에 따른 잉크 전이율을 나타내고 있다. 표면처리를 하지 않은 PDMS 스탬프는 은 잉크와의 표면접착에너지가 기관보다 작기 때문에 완전한 계면파괴에 의한 잉크전이가 어렵다. 또한 충분한 잉킹양을 가지기도 어렵다. 또한 코팅공정에서는 잉킹패드의 역할을 하는 유리기관 전면에는 은 잉크막을 균일하게 도포하는 것이 중요하다. 두께가 균일하지 않으면 잉킹공정에서 스탬프의 화선부(image area) 외에 비화선부(non-image area)에도 잉크가 묻어 우수한 인쇄 특성을 얻을 수 없기 때문이다. 그렇기 때문에 코팅막 두께를 균일하게 만들기 위하여 스핀코팅을 하였고, 스핀코팅 조건을 1000 rpm, 3000 rpm, 5000 rpm 으로 변화시키면서 코팅막 두께의 변화를 통하여 은 잉크의 잉



(a)



(b)

그림 6. (a) 코팅속도에 따른 잉크 전이율 그래프, (b) 잉킹공정 및 프린팅공정에서의 Roll속도에 따른 잉크전이율 그래프

Fig. 6. (a) The ink transfer ratio according to coating speed, (b) to roll speed at inking and printing process.

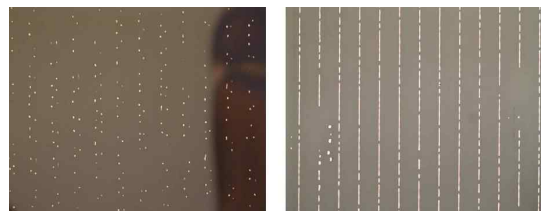
크 전이율의 변화를 보았다. 그 결과, 코팅막 두께를 두 겹께 만들고 잉킹되는 은 잉크의 양을 향상시킴으로서 잉크 전이율을 80%까지 향상시켰다. 이 때의 코팅조건은 500 rpm 10 s, 1000 rpm 20 s 일때이다.

다음으로 잉킹 공정과 인쇄공정에서의 롤 회전속도에 따른 잉크의 전이율을 확인하였다. 적합한 롤 속도는 25 mm/s 에서 200 mm/s 의 범위 안에서 인쇄 공정 후, 잉크의 전이율로 판정하였다. 롤 속도가 너무 느리면 공정이 진행되는 과정에서 잉크가 건조되어 인쇄가 되지 않는 문제점이 발생할 경우가 있고, 반대로 속도가 너무 빠르면 PDMS 스탬프와 기판과의 접촉이 제대로 되지 않아서 인쇄가 되지 않는 문제점이 발생할 수

가 있다.

잉킹공정에서는 균일하게 코팅된 은 잉크막에서 PDMS 스탬프의 화선부로부터 잉크를 전이하는 것이 중요한데 이것은 롤에 인가하는 압력으로 조절한다. 즉 롤에 부착된 PDMS 스탬프와 코팅된 은 잉크막사이의 간격조절을 통해 PDMS 스탬프의 화선부에만 잉크가 묻게 하는 과정을 말한다. 최소인압의 경우 PDMS 스탬프와 잉킹패드가 접하는 원점에서 $\pm 5 \mu\text{m}$ 범위 내에서 정해진다. 이러한 최소인압을 이용한 잉킹 공정에서는 롤 회전속도가 100 mm/s 에서 가장 나은 결과를 보였다. 100 mm/s 이상에서도 비슷한 전이율은 보였지만 화선부에 묻은 은 잉크가 갈라지는 현상이 나타났다.

마지막으로 인쇄공정에서는 표면 거칠기 향상을 위한 계면파괴에 의한 인쇄가 필수적이다. 그렇기 때문에 인쇄공정의 경우는 롤 속도와 인쇄압력을 통한 충분한 접촉시간을 가지는 것이 중요한 요소가 된다. 롤 속도를 느리게 가져가고 인쇄압력을 가해주게 되면 PDMS 스탬프와 기판사이의 접촉시간이 길어지게 되고 PDMS 스탬프와 잉크, 잉크와 기판사이의 표면접착에너지 차이가 감소하기 때문에 잉크 전이율이 향상된다. 이러한 조건을 바탕으로 인쇄 공정에서는 25 mm/s 의 롤 속도에서 가장 우수한 잉크 전이율을 보였다. 25 mm/s 보다 느린 롤 속도에서는 인쇄된 패턴이 뭉개지는 현상이 나타났고 롤 속도를 빠르게 가져갔을 경우는 충분한 접촉시간을 가지지 못함으로 인해서 인쇄특성이 나빠지는 결과를 보였다. 기판과 잉크사이의 표면접착에너지보다 큰 PDMS 스탬프와 잉크사이의 표면접착에너지 때문에 충분한 접촉시간을 가지지 못하면 인쇄특성이 나빠지게 된다. 그림 6(b)는 롤 속도에 따른 은 잉크의 전이율을 나타내는 그래프이다. 인쇄공정에서 인쇄압력의 경우는 5um의 압력을 더 가함으로서 충분한 접촉을 통해 잉크



(a)

(b)

그림 7. 인쇄압력에 따른 인쇄결과 (a) 인쇄압력을 가하지 않았을 경우, (b) 인쇄압력을 가했을 경우

Fig. 7. The printing results with respect to printing pressure; (a) without printing pressure, (b) with printing pressure.

와 PDMS 스탬프, 잉크와 기판사이의 표면접착에너지 차이를 줄여서 계면파괴에 의한 인쇄특성을 가능하게 하는 요인으로 작용한다. 그림 7을 통하여 인쇄압력을 가하는 것이 인쇄특성의 개선에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

3. 은 함량변화

원통형 마이크로 접촉 인쇄의 공정조건의 최적화를 통한 은 잉크 전이율 개선을 확인하였지만, 최종적으로 우리가 생각하는 완전한 계면파괴에 의한 잉크 전이를 위해서 은 함량 변화에 따른 잉크 전이율을 비교하였다. 그림 8에서 보는 것처럼 은 함량이 증가함에 따라 은 잉크의 점도가 커지면서 기판으로의 잉크전이 과정

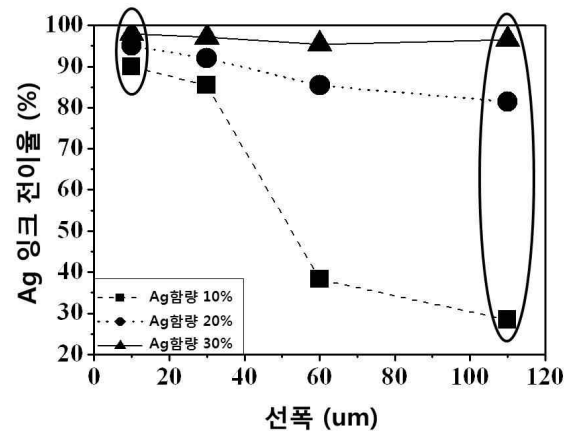


그림 8. 은 함량 및 선폭에 따른 PDMS 스탬프에서 기판으로의 잉크 전이율 그래프

Fig. 8. The ink transfer ratio from PDMS stamp to substrate according to Ag contents and line width.

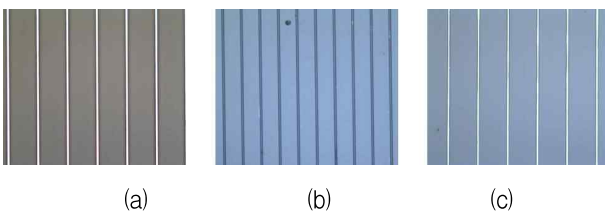


그림 9. 계면파괴에 의한 10 um 선폭의 Ag 전극 인쇄; (a) 잉킹공정 후 PDMS 스탬프, (b) 인쇄공정 후 PDMS 스탬프, (c) 기판에 인쇄된 10 um 선폭의 Ag 전극

Fig. 9. The Ag electrodes with 10 um line width made by the interfacial failure; (a) lines on PDMS stamp after inking process, (b) PDMS stamp after printing process where Ag ink was completely transferred to substrate, (c) the final Ag electrodes on substrate with 10 um width.

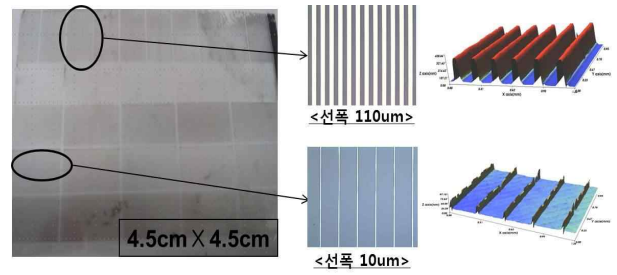


그림 10. 4.5cm x 4.5cm 면적의 기판에 인쇄된 Ag 전극과 미세 전극의 현미경 및 3D 프로파일러 사진
Fig. 10. The Ag electrodes on substrate with the picture of microscope and 3D profiler.

에서 잉크입자들 사이에 응집파괴가 아닌 계면파괴가 일어나면서 잉크 전이 특성이 개선되었다. 은 함량 30%의 경우 100%에 가까운 잉크 전이특성을 보였다.

또한 흥미로운 것은 패턴 선폭에 따른 차이가 나타났다. 선폭의 크기가 작은 경우에는 고형분에 따른 잉크 전이율의 차이가 작았지만 선폭의 크기가 커짐에 따라 은 고형분 함량에 따른 잉크 전이율의 차이도 크게 나타났다. 이러한 결과의 원인은 상호간의 접촉력에 있어서 PDMS 스탬프보다 기판과 은 잉크와의 접촉력이 크기 때문에 잉킹양이 충분하지 못하다. 그런데 은 잉크 코팅막과 만나는 선폭의 크기가 커짐에 따라 면적도 넓어지게 되기 때문에 상대적으로 선폭이 작은 경우와 비교 하였을 때 은 함량에 따른 잉크 전이율의 차이가 클 수밖에 없다.

그림 9는 최적화된 공정조건과 30%의 은 함량을 통한 계면파괴에 의한 인쇄공정을 나타내고 있다. 계면파괴를 통한 인쇄는 전극으로 사용하기 위한 표면 거칠기 향상에 영향을 미치는 요소이다. 그리고 인쇄된 인쇄물의 결과는 최소선폭 10 um의 전도성 금속 전극을 나타내고 있다.

그림 10에서는 앞의 실험 결과를 토대로 이전보다 개선된 면적의 균일한 금속 전극 인쇄물 결과와 3D프로파일러 사진을 나타내고 있다.

IV. 결론

우리는 톨루엔을 이용한 PDMS 스탬프의 제작을 통해 PDMS 스탬프의 평탄도를 개선시켰고, 원통형 마이크로컨택 접촉인쇄의 공정변수인 코팅속도, 잉킹속도, 인쇄속도 조건을 최적화하고 나노 은 잉크의 고형분 함량을 조절함으로써 인쇄특성을 개선시키는 결과를 얻었

다. 최적화된 공정조건인 코팅속도 1000 rpm, 잉킹속도 100 mm/s, 인쇄속도 25 mm/s와 은 함량 30%의 잉크 물성을 바탕으로 4.5cmX4.5cm 면적에 최소 선폭 10 um, 두께 300 nm 이하, 표면거칠기 30 nm 이하, 선저항 $2.08 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 를 가진 미세 금속 전극을 인쇄하였다.

참 고 문 헌

- [1] Myung-Won Lee, Mi-Young Lee, Jae-Cheol Choi, Jong-Seung Park, Chung-Kun Song, *Organic Electronics*, vol. 11, pp. 854-859, 2010.
- [2] Mi-young Lee, Myung-Won Lee, Ji-Eun Park, Jong-Seung Park, Chung-Kun Song, *Microelectronic Engineering*, vol. 87, pp. 1922-1926, 2010.
- [3] Stephane Casimirius, Emmanuel Flahaut, Christel Laberty-Robert, Laurent Malaquin, Franck Carcenac, Christophe Laurent, Christophe Vieu, *Microelectronic Engineering*, vol. 73, pp. 564-569, 2004.
- [4] K. Choonee, R.R.A. syms, H. Zou, *Transducers* 2009, pp. 96-99, 2009.
- [5] Imen Elloumi-Hannachi, Masanori Maeda, Masayuki Yamato, Teruo Okano, *Biomaterials*, vol. 31, pp. 8974-8979, 2010.
- [6] Veera B. Sadhu, Andras Perl, Xuexin Duan, David N. Reinhoudt, Jurriaan Huskens, *Soft Matter*, pp. 1198-1204, 2009.
- [7] 류기성, "Ag 페이스트를 소스와 드레인 전극으로 사용한 OTFT-OLED 어레이 제작," 전자공학회논문지, 제45권, 제5호, 491-497쪽, 2008년 5월.
- [8] Weitao Jiang, Hongzhong Liu, Yucheng Ding, Yongsheng Shi, Lei Yin, Bingheng Lu, *Microelectronic Engineering*, vol. 86, pp. 2412-2416, 2009.
- [9] Bin-Da Chan, Kuo-Huang Hsieh, Sen-Yeu Yang, *Microelectronic Engineering*, 2009.
- [10] Younan Xia, Dong Qin, George M. Whitesides, *Adv. Mater.*, vol. 8, no 12, pp. 1015-1017, 1996.
- [11] W. Zhou, Y. Huang, E. Menard, N. R. Aluru, J. A. Rogers, A. G. Alleyne, *Applied Physics Letters*, vol. 87, 251925, 2005.
- [12] 박성률, 송정근 "미세접촉 인쇄방식으로 OTFT의 전극 제작을 위한 동역학적 공정 조건", 대한전자공학회 하계종합학술대회, 제 32권, 제1호, 369-370 쪽, 2009년.
- [13] Fei Guan, Miao Chen, Wu Yang, Jinqing Wang, Rui Zhang, Shengrong Yang, Qunji Xue, *Applied Surface Science*, 230, pp. 131-137, 2004.
- [14] Jong-Woo Kim, Ki-Yeon Yang, Sung-Hoon Hong, Heon Lee, *Applied Surface Science*, 254, pp. 5607-5611, 2008.
- [15] Martin Heule, Urs P. Schonholzer, Ludwig J. Gauckler, *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 24, pp. 2733-2739, 2004.
- [16] Moon Kyu Kwak, Kyu Ho Shin, Eung Yeoul Yoon, Kahp Y. Suh, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2009.
- [17] Weitao Jiang, Hongzhong Liu, Yucheng Ding, Yongsheng Shi, Lei Yin, Bingheng Lu, *Microelectronic Engineering*, vol. 86, pp. 2412-2416, 2009.
- [18] B. K. Choo, N. Y. Song, K. H. Kim, J. S. Choi, K. C. Park, J. Jang, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354, pp. 2879-2884, 2008.
- [19] M. Leufgen, A. Lebib, T. Muck, U. Bass, V. Wagner, T. Borzenko, G. Schmidt, J. Geurts, L. W. Molenkamp, *Applied physics letters*, vol. 84, no. 9, pp. 1582-1584, 2004.
- [20] John A. Rogers, Zhenam Bao, Kirk Baldwin, Ananth Dodabalapur, Brian Crone, V. R. Raju, Valerie Kuck, Howard Katz, Karl Amundson, Jay Ewing, Paul Drzaic, *PNAS*, vol. 98, no. 9, pp. 4835-4840, 2001.
- [21] Se-Jin Choi, Dongha Tahk, Hyunsik Yoon, *Journal of Colloid and Interface Science*, 340, pp. 74-81, 2009.
- [22] S. R. Park, S. M. Kim, G. S. Ryu, C. B. Lee, C. K. Song, *IMID2009 Digest*, pp. 910-913, 2009.
- [23] Jeongdai Jo, Jong-Su Yu, Tail-Min Kim, Dong-Soo Kim, Kwang-Young Kim, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 10, no. 5, pp. 3935-3599, 2010.
- [24] Byoung-Kwon Choo, Na-Young Song, Ki-Hwan Kim, Jung-Su Choi, Kyu-Chang Park, Jin Jang, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354, pp. 2879-2884, 2008.
- [25] Dawen Li, Jay Guo, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 41, 105115, 2008.
- [26] Ute Zschieschang, hagen Klauk, Marcus Halik, Gunter Schmid, Christine Dehm, *Adv. Mater.*, 15, no 14, pp. 1147-1151, 2003.
- [27] Jun-Hyuk Choi, Soon-Won Lee, Jun-Ho Jeong, Dae-Geun Choi, Eung-Sug Lee, *Microelectronic Engineering*, 86, pp. 622-627, 2009.
- [28] Marko Paudas, Juha Hagberg, Seppo Leppavuori, *Journal of the European Ceramic Society*, 24, pp. 2943-2950, 2004.

[29] Chao-Xuan Liu, Jin-Woo Choi, Journal of Micromechanics and Microengineering, 19, 085019, 2009.

[30] Xue Feng, Matthew A. Meitl, Audrey M. Bowen, Yonggang Huang, Ralph G. Nuzzo, Joun A. Rogers, Langmuir, 23, pp. 12555-12560, 2007.

저 자 소 개



김 준 학(학생회원)
 2009년 동아대학교
 신소재물리학과
 2010년~현재 동아대학교
 전자공학과 석사 과정.
 <주관심분야 : OTFT, Flexible
 Display, Printed Electronics>

이 미 영(학생회원)
 2002년 8월 부경대학교 인쇄정보공학과 학사 졸업
 2004년 8월 부경대학교 인쇄공학과 석사 졸업
 2008년 8월 부경대학교 인쇄공학과 박사졸업
 2008년 6월~2011년 3월 미디어디바이스연구센터
 선임연구원
 2011년 4월~현재 LS 니꼬동제련
 <주관심분야 : 페이스트 개발 및 인쇄전자 공정>



송 정 근(정회원)
 1980년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1984년 서울대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1992년 University of Cincinnati
 Electrical and Eng.
 공학 박사

1992년~현재 동아대학교 전자공학과 정교수
 <주관심분야 : 나노유기소자, 분자 전자소자,
 Flexible Electronics, Flexible Display>