

정밀 스크린 중첩인쇄를 통한 미세 격벽 형성 Fabrication of Micro-Wall using High-Resolution Iterative Screen Printing

*윤성만¹, 유종수¹, 유하일¹, 김동수¹, #조정대¹
*S. M. Yoon¹, J. S. Yu¹, D. S. Kim¹ and #J. D. Jo(micro@kimm.re.kr)¹
¹ 한국기계연구원 나노융합기계연구본부

Key words : Screen printing, Micro Wall, Printed electronics

1. 서론

인쇄 전자 소자의 제작에는 그라비아(gravure), 플렉소(flexo), 스크린(screen), 롤투롤(roll-to-roll) 등 다양한 인쇄 방법이 적용되고 있으며, 인쇄 공정에 맞는 재료의 개발에도 많은 노력을 기울이고 있다. 특히 최근에 활발하게 연구되고 있는 인쇄 유기발광소자(organic light emitting diode, OLED)[1], 인쇄 유기박막구동소자(organic thin-film transistor, OTFT)[2] 등의 분야에서 패턴 형성을 위해서 높은 해상도를 갖는 인쇄 방법의 개발이 요구되고 있다. 패턴 형성의 방법에는 다양한 인쇄 공정이 적용될 수 있으나 높은 집적도와 고해상도를 가지는 전자 소자의 제작을 위해서는 미세 선폭을 갖는 패턴의 구현을 필요로 하게 된다. 그리고 인쇄전자뿐만 아니라 보호필름, EMI 차폐필터, 칼라필터의 격벽 등 인쇄를 이용한 응용분야에서는 미세한 선폭을 가지면서 종횡비(aspect ratio)가 큰 선폭을 필요로 한다. 그러나 기존의 인쇄방법으로는 종횡비가 큰 미세패턴을 제작하기가 어렵다. 보편적으로 100 μm 이하의 기능성 미세패턴 형성 방법은 포토리소그래피(photolithography)를 이용한다. 포토리소그래피를 이용하여 종횡비가 큰 패턴 제작이 가능하지만 이 방법은 장치비가 상당히 비싸고, 불필요한 부분을 용제 또는 알칼리 수용액으로 제거해야 되기 때문에 폐액처리 문제 등 환경적인 문제뿐만 아니라 원재료 비용도 많이 든다[3]. 이러한 공정의 복잡성과 높은 비용으로 인하여 새로운 패턴링 기술의 개발이 요구되어지고 있다. 대체할 수 있는 새로운 인쇄 공정은 포토리소그래피와 유사한 수준의 패턴 정밀도가 확보되어야 하며 단순한 공정에 의한 패턴링이 가능해야 한다[4]. 따라서 본 연구에서는 기존의 종횡비가 큰 미세패턴 형성에 사용하던 포토리소그래피 방법의 대안으로 단순한 공정, 낮은 제작 비용, 다양한 물질의 기판에 대면적의 패턴 형성이 가능한 스크린 중첩 인쇄를 이용하여 적용 분야가 다양한 미세패턴을 갖는 격벽을 제작하였다.

2. 스크린 프린팅 공정

스크린 인쇄는 Fig. 1 과 같이 스텐실(stencil)을 이용한 가압식 공정이다. 낮은 공정 속도를 갖는다는 단점이 있으나 공정이 단순하고 잉크와 기판에 영향을 받지 않는 장점이 있어 대면적 기판 위에 두꺼운 잉크 증착에 적합한 기술이며, 대기중에서 박박 형성과 패턴링 과정까지 한번에 진행할 수 있다. 또한 타 장비들에 비해 간단한 공정으로 진행할 수 있어 시간과 비용면에서 큰 이점을 가지고 있다. 스크린 인쇄의 메커니즘은 스크린 위에서 페이스트가 스쿠지에 의해 전방향으로 회전하는 롤링(rolling) 메커니즘, 스쿠지 면으로부터 수직방향으로 받는 힘이 페이스트의 탄성 변형을 가져와 기울어진 앞 방향으로 힘을 전달하여 스크린 마스크의 오프닝 위에서 정지하고 있는 페이스트를 토출시키는 토출 메커니즘, 스쿠지의 이동에 따라 페이스트가 토출한 후, 스크린은 스스로의 장력에 의해 기판으로부터 분리되고 기판에 도달했던 페이스트는 스크린과 분리된 채 기판으로부터 남게 된다는 판 분리메커니즘, 그리고 판 분리 후의 페이스트가 기판 위에서 스스로의 힘(표면장력 등)으로 형상을 유지하거나 표면을 레벨링하는 레벨링

(leveling) 메커니즘으로 구성된다[5].

3. 미세 격벽 형성 실험 및 결과

미세격벽(micro-wall)실험에 사용된 재료는 점도가 약 8000 cps 정도인 안료로서 스크린 인쇄용으로 사용하기에 적합한 점도를 가지고 있으며 경화조건은 UV 조사이다. 기판(substrate)은 안료에 대한 인쇄성과 접착력이 우수하고 중첩인쇄의 경화 과정에서 필름의 변형이 없는 PEN(polyethylene naphthalate)과 PET(polyethyleneterephthalate) 플라스틱 필름을 사용하였다. PET 필름의 두께는 약 188 μm , 최대 공정 허용 온도가 140 $^{\circ}\text{C}$ 이며, PEN 필름은 두께 200 μm , 최대 공정 허용온도가 150 $^{\circ}\text{C}$ 이다. 스크린 인쇄에 사용된 스크린 제판은 선폭 20 μm 이고, 간격 50 μm 이며, 직선, 사선(/) 및 격자(+) 패턴으로 설계하였다. 실험에 사용된 스크린 인쇄기는 공압 구동 방식의 반자동 스크린 인쇄기로써 정밀 정렬이 가능한 스크린 인쇄기를 사용하였다. 고정도 미세 패턴의 형성에 있어서는 스크린 인쇄의 주요 공정조건인 인쇄 속도, 인쇄 압력, 제판과의 이격거리 등이 중요한 인자가 된다. 중첩인쇄시의 공정 조건은 Table 1 에 나타내었다. 이론적으로 인쇄 높이를 높이기 위해서는 인쇄 속도는 빠르게 하고 인쇄 층이 높아졌을 때 압력을 조금씩 줄여줘야 한다. 실험에서는 인쇄 횟수가 증가할 때마다 압력을 0.1 kgf 씩 내리면서 공정상의 변화를 주었고 인쇄 속도는 동일한 조건하에서 실험하였다. 공정조건뿐만 아니라 인쇄에 사용하는 제판의 사양도 중요한 영향을 미치게 된다. 또한 격벽 형성을 위해서는 인쇄 선폭뿐만 아니라 고도의 높이를 갖는 패턴을 형성해야 하므로 정밀 정렬(alignment)을 이용한 중첩인쇄 방법으로 패턴을 형성하였다. 중첩인쇄는 플라스틱 필름 위에 인쇄를 하는 인쇄과정, 인쇄된 표면을 경화시키는 경화과정, 그리고 다시 정렬을 이용해 인쇄된 표면 위에 반복인쇄를 하는 공정이다.

Table 1 Process condition of iterative screen printing

printing speed(1st)	printing pressure(1st)	printing speed(5th)	printing pressure(5th)
130 mm/s	2.1 kgf	130 mm/s	1.7 kgf

플라스틱 필름의 열적 변형에 의한 오차를 최소화 하기 위해 PEN 플라스틱 필름으로 실험을 수행하였다. 1 회부터 5 회까지의 인쇄 과정에서 플라스틱 필름은 각각 다른 플라스틱 필름을 이용하여 실험하였다. 5 회 반복 스크린 인쇄한 패턴의 높이 변화 결과를 Fig. 2 에 나타내었다. 1 회 인쇄 결과 높이는 4.769 $\mu\text{m}(\pm 0.05 \mu\text{m})$, 선폭은 52.704 $\mu\text{m}(\pm 0.05 \mu\text{m})$ 인 패턴이 형성되었다. 인쇄속도 및 인쇄압력의 공정 조건을 변화하고 일정한 공정 순서로 5 회 중첩인쇄 결과, 높이는 75.450 $\mu\text{m}(\pm 0.05 \mu\text{m})$ 이고, 선폭은 54.531 $\mu\text{m}(\pm 0.05 \mu\text{m})$ 로 미세 격벽이 형성되었다. 높이 측정 결과, 미세 격벽의 표면이 \wedge 의 형태를 하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 안료가 가지고 있는 점성으로 인한 현상으로 보여진다. 이 현상은 결과물의

용도에 따라 무시될 수도 있고 반면에 큰 결함이 될 수도 있다. 이 효과는 O₂ 플라즈마(Plasma) 처리를 이용하여 표면이 평평한 패턴의 형상을 갖도록 만들 수 있다. 인쇄 후에 UV 로 경화하지 않고 플라즈마 처리를 하면 좀 더 평평한 표면을 갖는 패턴을 형성할 수 있었다. 그러나 안료를 이용해 미세 패턴을 형성할 경우 UV 경화보다 패턴 모양이 선명하지 않고 투과도가 떨어지고 패턴의 선폭이 약간 크게 형성된다는 단점이 있었다. Fig. 3 은 플라즈마 처리를 이용해 미세 격벽 패턴을 형성한 결과이다. Fig. 2 와 Fig. 3 의 중첩인쇄 실험 결과, 미세 격벽 패턴의 높이는 인쇄가 거듭될수록 4.769 μm(6.649 μm)에서 75.450 μm(45.837 μm)로 증가하였고 선폭은 처음 인쇄 시에 기준 선폭보다 증가하는 경향이 있지만 더 이상 증가하지 않고 처음 인쇄했던 선폭을 유지하면서 격벽을 형성하고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 인쇄 선폭이 기준 선폭보다 100% 이상 퍼짐(diffusion) 현상이 발생하였으나 중첩 정밀도는 상당히 높다는 것을 알 수 있었고 제판의 설계와 공정 조건의 변화로 인해 선폭을 충분히 제어할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 그리고 인쇄되는 표면의 특성에 따라 인쇄 결과가 달라지는데 표면이 약간 소수성인 플라스틱 필름을 사용하면 인쇄 높이를 높게 할 수 있었다. 인쇄 기관이 인쇄되는 재료에 친수성의 경향을 가지고 있으면 인쇄 후에 퍼지는 현상이 발생해 선폭이 증가한다. 따라서 인쇄 기관으로 사용되는 플라스틱 필름의 선정도 실험 결과에 영향을 미칠 수가 있다는 것을 알 수 있었다. Fig. 4 는 중첩인쇄에 있어서 미세격벽의 인쇄 높이와 인쇄 선폭의 변화를 나타내는 그래프이다. 선폭은 1 회에서 5 회까지 인쇄 결과를 비교하였으며 10 μm 내의 증가폭을 가지고 선형적으로 격벽이 형성되었고, 기준 선폭에 대한 오차율은 매우 크나 인쇄 된 선폭의 변화율이 10% 이하임을 알 수 있었다. 높이는 1 회부터 5 회까지 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

중첩인쇄를 이용한 고도의 높이를 갖는 미세 격벽 패턴 형성실험결과, 기존에 복잡한 공정과 고가의 포토리소그래피 방법의 대안으로 스크린 인쇄가 적용 가능하였다. 본 실험에서는 스크린 인쇄의 공정조건을 최적화하여 최소선폭이 48.752 μm이고, 최대높이가 75.450 μm의 1.55 의 중첩비를 갖는 미세 격벽을 제작하였다. 스크린 인쇄가 압력을 가해 잉크를 토출시키는 원리이기 때문에 선폭의 제어에 많은 어려움이 있다. 따라서 미세한 패턴을 형성하기 위한 제판의 설계와 인쇄되는 재료의 선정 및 제조, 그리고 인쇄를 위한 최적의 공정조건의 결정과 적용 등에 관한 연구가 계속적으로 이루어져야 한다.

후기

본 연구는 산업기술연구회의 기본사업 연구비 지원으로 수행되었습니다.

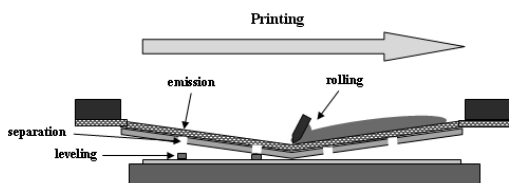


Fig. 1 Configuration of screen printing process

No. of print	Result images	Height and width
1		height : 4.769 μm width : 52.704 μm
2		height : 9.206 μm width : 48.752 μm
3		height : 24.286 μm width : 54.022 μm
4		height : 42.563 μm width : 53.363 μm
5		height : 75.450 μm width : 54.531 μm

Fig. 2 Fabrication of micro-wall pattern using iterative screen printing

No. of print	Result images	Height and width
1		height : 6.649 μm width : 51.887 μm
2		height : 24.255 μm width : 54.022 μm
3		height : 30.867 μm width : 55.340 μm
4		height : 38.983 μm width : 59.029 μm
5		height : 45.837 μm width : 65.881 μm

Fig. 3 Results of iterative screen printing with plasma treatment

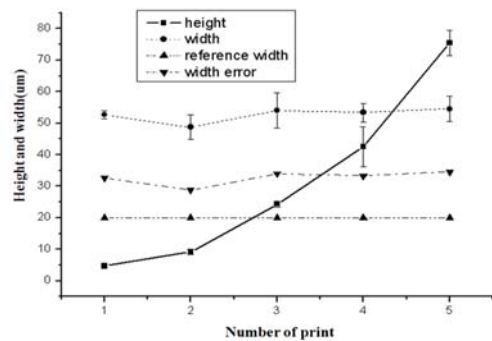


Fig. 4 Variation characteristics of number of screen print versus height and width.

참고문헌

1. J. S. Yu, J. D. Jo, D. J. Kim, "Fabrication of all printed organic light emitting diode with thin film transistors using screen printing," International conference on Nano Science and Nano Technology, p341, Nov. 2008.
2. J. D. Jo, J. S. Yu, T. M. Lee, D. S. Kim, "Fabrication of printed organic thin-film transistors using roll printing," International Conference of Solid State Devices and Materials, pp610-611, 2008
3. 최용정, 정광일, 이택민, 김용성, 김광영, "미세패턴 스크린 프린팅," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 575-576, 2006.
4. 이준엽, "프린팅 기술을 이용한 유기전자소자," Polymer Science and Technology, Vol. 18, No.3, June, 2007.
5. D. R. Gamota, P. Brazis, K. Kalyanasundaram, and J. Zhang, "Printed organic and molecular electronics," Kluwer Academic Pub., 307-315, 2004.