

플렉서블 디스플레이를 위한 인쇄공정기술의 개발 동향

이화성 · 장윤석

1. 서론

미래형 디스플레이 소자는 소형화, 박막화를 거쳐 휘어질 수 있고 (flexible), 착용이 가능하며(wearable), 접을 수 있는(foldable) 전자 소자로 발전해 가고 있다.¹⁻³ 실제로 관련기업에서는 향후 5~10년 이내에 모바일 기기에 적용될 플렉서블 디스플레이 패널의 상용화가 가능할 것으로 예측하고 있다. 플렉서블 디스플레이를 구현하기 위해서는 실리콘 기판이나 금속전극과 같이 무기재료를 기반으로 하는 전자소자를 대체하여 유기재료를 기반으로 하는 전자소자, 특히 유기박막트랜지스터나 인버터와 같은 유기전자소자의 제작이 필요하다.

종래의 유기트랜지스터와 같은 유기전자소자는 균일한 박막의 제조가 용이하고 막의 두께를 조절할 수 있어 미세화에 유리한 진공증착을 주로 사용하였다.⁴⁻⁶ 이러한 제작 방법은 분순물의 혼입을 방지할 수 있어 유기박막트랜지스터의 기초물성을 연구하는데 매우 유효한 수단이지만, 제조공정에서 재료의 손실이 크고 고가의 진공장치가 필요하며 대면적 구현이 어렵다는 단점이 있다. 또한 전자소자를 제작하는데 있어 재료의 미세한 패턴 특성을 요구하는 경우 포토리소그래피(photolithography) 공정이 보편적으로 사용되어 왔다. 포토리소그래피 공정은 미세패턴 공정이 가능하고 현재까지 응용분야가 널리 확보되어 있는 기술이지만 100 nm 이하의 미세 나노 구조물 또는 패턴을 형성하는 데는 한계에 직면하고 있는 실정이다. 또한 포토리소그래피 공정은 공정단가가 상대적으로 높고 공정단계 또한 복잡하며, 전사되는 표면조건에 따른 제한을 받고, 공정에 사용되는 포토레지스터(photoresist) 재료 선택의 폭이 좁다는 치명적인 단점이 존재한다. 최근 전자소자의 집적도가 높아지고 있고 이와 함께 유연성을 갖춘 유기전자소자를 이용한 저비용 대면적의 차세대 디스플레이 기술 개발이 활발히 이루어지고 있는 상황에서 기존의 포토리소그래피 공정기술을 대체할 수 있는 새로운 패턴인쇄기술이 요구되고 있다.

이러한 추세에 따라 최근 개발되고 있는 패턴인쇄기술의 특징은 기존의 전자제품을 생산하는 방식과는 달리 신문이나 잡지, 포스터 등의 인쇄물을 제작하는데 사용해 온 인쇄기술을 전자소자의 제조에 적용하는 것이다.^{3,7,8} 이러한 인쇄기술은 기존의 방식에 비해 공정 과정이 단순하고, 비용이 낮은 장점을 가지고 있다. 또한 연속적인 유기재료의 패턴공정을 확보할 수 있어 대면적에서 균일한 소자를 높은 신뢰성으로 제작할 수 있다. 현재 개발된 인쇄공정 중 잉크젯 프린팅(inkjet printing),⁹ 임

프린트 리소그래피(imprint lithography),⁷ 그리고 오프셋 인쇄법(offset printing)이⁸ 집중적으로 관심받고 있다. 하지만 유기전자소자 성능의 최적화와 플렉서블 디스플레이의 구현을 위한 최적의 인쇄기술의 개발은 아직 많은 도전을 필요로 하고 있다. 따라서 본고에서는 유기전자소자의 제작을 위해 사용되는 다양한 패턴인쇄 공정에 관한 소개와 연구 동향을 살펴보고자 한다.

2. 본론

현재 유기반도체 재료나 유기전극물질을 기판에 패턴인쇄하기 위해 다양한 방법들이 연구·개발되고 있다. 본 단락에서는 대표적인 패턴인쇄 공정에 대해 살펴보고자 한다.

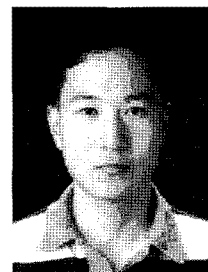
2.1 잉크젯 프린팅(Inkjet Printing)

잉크젯 기술은 미세노즐을 통해 잉크형태로 제조한 용액을 수~수십 피코리터(pico liter)의 방울로 분사하여 패턴을 형성하는 비접촉식 패턴형성 방법이다(그림 1(a)). 지금까지 잉크젯 프린팅은 가정이나 오피스



이화성

2004 한양대학교 화학공학과(학사)
2006 포항공과대학교 화학공학과(석사)
2009 포항공과대학교 화학공학과(박사)
2009~ New York Univ., Molecular Design
2011 Institute(Post doc.)
2011~ 한밭대학교 화학공학과 교수
현재



장윤석

2003 한양대학교 화학공학과(학사)
2005 포항공과대학교 화학공학과(석사)
2008 포항공과대학교 화학공학과(박사)
2008~ Brookhaven National Laboratory
2010 (Post doc.)
2010~ 한국기계연구원 선임연구원
현재

Printing Technology for Flexible Displays

한밭대학교 화학공학과(Hwa Sung Lee, Department of Chemical Engineering, Hanbat University, 16-6, Dukmyung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-719, Korea) e-mail: hlee@hanbat.ac.kr

한국기계연구원(Yunseok Jang, Printed Electro-Mechanical Systems Research Center, Korea Institute of Machinery & Materials(KIMM), Daejeon 305-343, Korea)

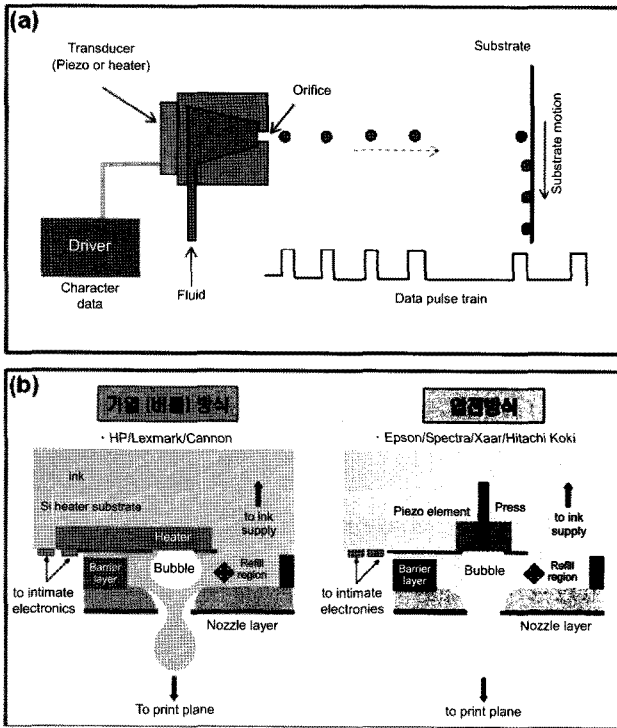


그림 1. (a) 잉크젯 프린팅의 원리. (b) 잉크분사 방식에 따른 잉크젯 프린팅 분류.

에서 전기적인 신호를 종이에 전달하는 수단으로 사용되어 왔지만 최근 들어 산업적인 제조 공정에서 소량의 재료를 원하는 위치에 도포하기 위한 방법으로 많은 관심을 받고 있다. 그림 1(b)에서 보여지는 것처럼 잉크젯 프린팅은 잉크를 분사하는 원리에 따라 피에조(piezo) 방식과 버블젯(bubble-jet) 방식으로 나뉠 수 있다.⁹ 피에조 방식은 노즐 위에 피에조 소자가 전기적인 신호에 의해 변형되면서 잉크를 밀어내 방울을 뿜어내는 방식으로 피스톤을 밀어 주사기 속의 용액을 짜내는 원리와 유사하다. 버블젯은 잉크에 열을 가해 순간적으로 기포를 발생시켜 그 압력에 의해 잉크가 분사되는 방식이다. 피에조의 방식의 경우 잉크에 열을 가하지 않아도 되기 때문에 헤드의 수명이나 재료의 변성, 다양한 잉크의 적용 측면에서 유기전자소자 제작에 보다 적합한 것으로 평가받고 있다.

잉크젯 프린팅 방법은 단순한 인쇄공정과 높은 패턴정밀도로 인해 유기발광소자인 organic light emitting diode (OLED)의 발광층 형성공정 및 유기박막트랜지스터(OTFTs)의 유기활성층의 형성을 위한 공정에 적용되고 있다(그림 2). 뿐만 아니라 재료의 소모량이 매우 적고 공정의 대형화에도 적합하여 저비용 대량생산을 위한 최적의 패턴인쇄 방법으로 인식되고 있다. 현재 잉크젯 프린팅 연구의 선도그룹은 Cambridge 대학의 H. Sirringhaus 교수로서 최근 패턴된 폴리이미드(polyimide)기판 위에 잉크젯 프린팅을 통해 도포된 전도성 고분자 용액이 dewetting되는 현상을 이용하여 매우 미세한 전극간격을 가지는 유기트랜지스터를 제작하고 그 소자성능을 보였다.¹ 또한 국내에서는 포항공대 조길원 교수팀이 용액공정용 유기반도체 재료인 펜타센 유도체와 폴리싸이오펜(polythiophene) 재료를 잉크젯 프린팅 공정을 사용하여 대면적에서 균일한 소자성능을 구동하는데 성공하였다.^{10,11} 잉크젯 프린팅 공정을 상용화하기 위한 관련기업들의 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 미국과 유럽의 Xerox, HP, Philips사 등은 현재 잉크젯 장비를 생산하고 있으며, Dupont, BASF, Bayer, Cabot, Polyera 같은 재료업체

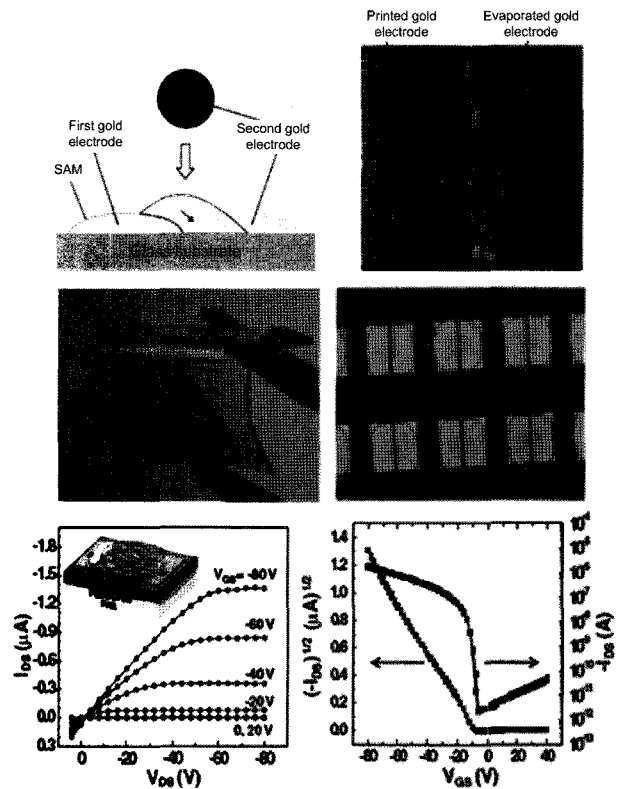


그림 2. 잉크젯 프린팅 공정을 통해 제조된 유기박막소자와 측정된 소자성능.

와 공동으로 잉크젯 프린팅 기술을 양산에 적용하기 위한 연구를 활발히 진행하고 있다. 반면, 국내 연구수준은 아직 미흡한 수준이다. 선진국에 비해 기업, 연구소, 그리고 대학의 다양한 연구그룹의 잉크젯 프린팅 공정에 대한 연구는 아직까지 원천기술 확보에서 뒤처지고 있는 실정이다. 하지만 삼성전자와 LG 디스플레이는 2008년 8세대 LCD 라인부터 잉크젯 프린팅 기술을 적용하여 제품을 생산하는 등, 잉크젯 프린팅 기술은 하루가 다르게 발전하고 있다.

잉크젯 프린팅 기술의 우수한 장점에도 불구하고 상용화를 위해서는 아직 해결해야 하는 문제점이 존재한다. 대표적으로 프린팅된 패턴의 균일도 확보, 잉크방울의 탄착위치 정밀도 향상, 잉크젯 헤드의 신뢰성 및 수명 문제, 그리고 잉크젯 공정의 신뢰성 확보 등이 그것이다. 잉크젯 프린팅 기술의 실용화를 위해서는 잉크소재 합성 및 설계기술, 헤드설계기술, 공정적용기술 개발이 협력을 통해 유기적으로 진행되어야 하며, 이를 위해 기업간 및 소재관련 산학연간의 긴밀한 공조체계가 절실히 요구된다.

2.2 임프린트 리소그래피(Imprint Lithography)

임프린트 리소그래피는 고분자 층에 빛을 조사하여 화학구조를 변형시키는 노광공정과 달리 유동성 있는 고분자 층을 주형에 접촉시키고 물리적으로 눌러서 고분자 층에 원하는 패턴을 만들어 내는 방법이다.¹² 이 기술을 이용하여 구조물이 패턴된 몰드(혹은 스텝프)를 제작한 뒤 적절한 기판 위에 나노구조물을 복제하여 전사함으로써 종이 위에 도장을 찍는 것과 유사하게 빠른 패턴인쇄공정을 확보할 수 있다.

그림 3은 나노임프린트 리소그래피 공정(a)과 다양한 몰드의 형태(b), 그리고 임프린팅 공정의 결과물(c)에 대한 전자현미경 사진이다. 현재까지 나노임프린트 공정을 이용해서 형성한 가장 작은 크기의 패턴은 프린스턴 대학의 Steven Chou 교수가 발표했던 7 nm 정도의 dot 구조이며 이론적으로는 이보다 작은 크기도 가능하다. 하지만 보통 원판

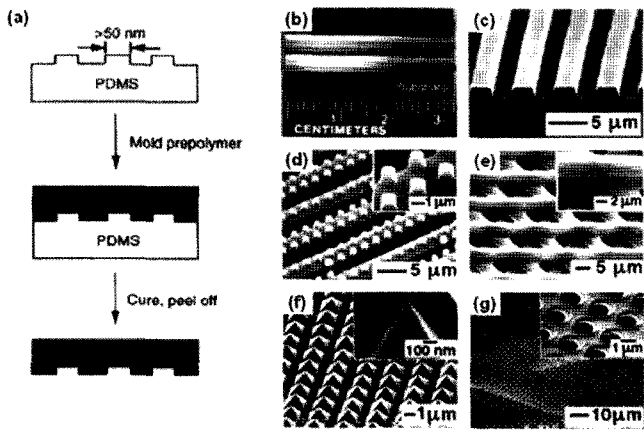


그림 3. (a) 나노임프린트 공정의 모식도. (b)–(d) 다양한 형태의 나노임프린트 몰드. (e)–(g) 나노임프린팅 공정의 결과.

몰드를 만드는 과정이 e-beam 리소그래피를 이용하는 매우 까다로운 과정이므로 패턴의 크기나 기하학적인 구조는 보통 e-beam 리소그래피의 성능에 따라 좌우되는 경우가 많다. 임프린트 리소그래피는 공정의 단순함과 효율성을 향상시키기 위해 다양한 형태로 확장되었다. 그 중 열 임프린트(thermal imprint), 광 임프린트(UV-imprint), 소프트 리소그래피(soft lithography)가 대표적이다.

2.2.1 열/광 임프린트

열 경화성 수지를 이용한 열 임프린팅 방법은 열가소성 폴리머를 기판 위에 얇게 코팅하고 유리전이온도 이상의 온도에서 패턴이 형성되어 있는 몰드를 가압하여 최종 패턴을 만드는 방법이다. 전사재료는 폴리머 이외의 열가소성 재료에도 적용이 가능하며, 금형재료로서는 실리콘, 석영이나 금속 등의 딱딱한 재료를 주로 사용한다. 몰드의 패턴을 전사한 후 기판 위에 패턴된 고분자를 mask로 사용하여 에칭하게 되면 원하는 패턴을 기판 위에 형성할 수 있다. 광경화성 수지를 이용하는 광 임프린트 방식은 자외선 조사방식으로 알려져 있으며 Texas 대학의 Wilson과 Sreenivasan 교수에 의해 제안된 S-FIL(step and flash imprint lithography) 방법이 여기에 해당된다. 이 방법은 열 대신 자외선 경화 방식을 사용하기 때문에 투명한 몰드가 사용되며, 작은 면적의 몰드를 사용하여 반복적으로 패턴을 찍어낼 수 있다는 장점을 가진다.

2.2.2 소프트 리소그래피(Soft Lithography)

소프트 리소그래피 방법은 유연한 특성을 가지는 몰드(mold)를 이용하여 패턴을 형성하는 방법으로 주로 polydimethylsiloxane(PDMS)와 같은 탄성체로 만들어진 몰드를 사용한다. 패턴인쇄 과정은 먼저 PDMS 몰드를 원하는 기판 위에 올린 후 고분자 용액을 떨어뜨리면, 고분자용액은 모세관현상에 의해 채널을 채우게 된다. 이후 용매를 증발시키면 고체의 고분자가 생성되기 시작하고 몰드를 제거함으로써 최종적으로 원하는 고분자 패턴을 얻을 수 있다. 이 기술은 적절한 몰드와 고분자 용액의 선택을 통해 쉽고 간단히 패턴을 만들 수 있는 유용한 기술로서, 원하는 패턴의 크기와 형태의 몰드를 제작하는 것이 관건이다. 현재 사용되는 몰드로는 유연하고 투명하며 접착력이 우수한 PDMS가 가장 널리 사용되고 있지만, 강도가 약한 특성을 가지고 있기 때문에 패턴 형성 시 압력에 의한 변형 등으로 100 nm 이하의 미세한 패턴을 형성하기 어려운 단점을 가지고 있다. 또한 용매 등에 의한 부풀어오름(swelling) 현상이 나타나는 문제점이 있으므로 최근에는 새로운 재료로서 폴리우레탄을 몰드로 활용하고 있다. 소프트 리소그래피 기술은 미세접촉 프린팅(micro-contact printing)을 기본으로 하여, 모세관 현상(capillary force)을 이용한 패턴공정, 미세전달현상(micro-transfer)을 이용한 패턴공정, 용매원용 미세패턴(solvent assisted micro-molding) 등의 방법으로 발전되어 왔다(그림 4).

접촉인쇄 방식은 유연한 특성을 가지는 몰드와 기판표면 사이의 접촉 특성이 핵심이며, 패턴을 기판으로 전사하는데 매우 효율적인 방법이다. 이 방법은 몰드를 용액에 담근 후 기판에 밀착시켜 패턴을 기판으로 전사하는 프린팅 방법이며, 마스터를 이용하여 반복적으로 패턴을 복제할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 접촉인쇄 방식은 2차원의 형상을 만드는 데 적합하지만 최근에는 금속박막도금과 같은 다른 공정과 결합하여 3차원의 형상을 만드는 공정에도 활용되고 있다. Capillary micro-molding 방법은 몰드를 기판 위에 고정시킨 후, 모세관 현상을 이용하여 몰드에 형성된 미세한 패턴 사이로 용액을 침투하게 하여 패턴을 형성하는 방법이다. 이 방법은 몰드의 미세 크기 패턴을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 여기서 소개한 소프트 리소그래피 방법 이외에도 다양한 변형이 존재한다. Lift-off 방법은 기판 위에 형성되어 있는 필름에 스탬프를 밀착하여 원하지 않은 부분을 떼어내는 방법이고, reverse soft molding을 이용한 방법은 연속적인 유기전사소자를 제작하기 위해 개

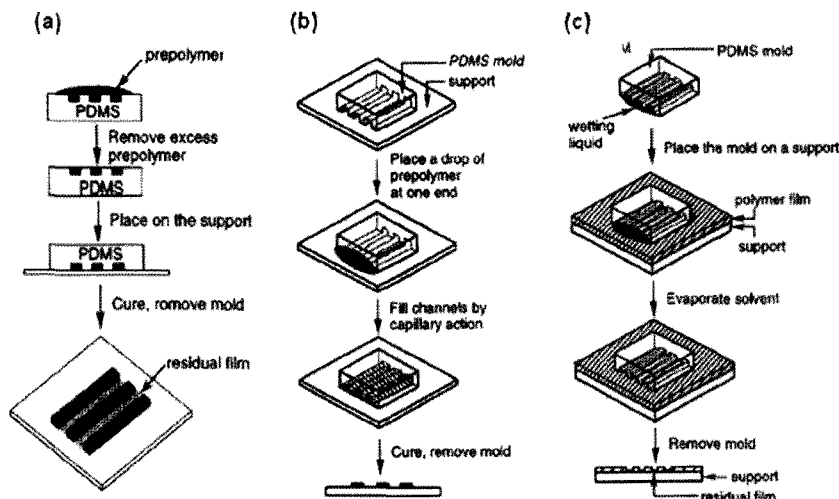


그림 4. (a) Micro-contact printing. (b) Capillary를 이용한 micro-molding. (c) 용매원용 미세몰딩(solvent assisted micro-molding).

발된 방법으로 역상을 형성할 수 있는 몰드를 이용하여 기판 위에 패턴을 형성하는 방법이다.

현재 임프린트 리소그래피 방법은 Harvard 대학의 Whitesides 교수 그룹과 Stanford 대학의 Bao 교수 그룹이 주도를 하고 있다. 특히 미국, 유럽 및 일본 등의 기술 선진국들은 기반기술 확보 차원을 넘어 임프린트 기술에 의한 패턴인쇄 방법을 플렉서블 디스플레이뿐만 아니라 다른 전자소자, 생체소자에 적용하려는 산학연관의 네트워크를 갖추어 연구를 활발히 진행하고 있다. 국내에서도 최근 임프린트 기술에 의한 패턴형성 기술에 대한 관심이 고조되어 서울대의 이흥희 교수팀과 POSTECH, KAIST 등 국내 여러 대학에서 관련연구를 수행하고 있다. 임프린트 리소그래피는 패턴을 형성하는 과정이 간편하고, 미세한 패턴구조를 형성할 수 있으며, 3차원 패턴을 제작할 수 있다는 장점이 있으나, 초기 마스크 제작 비용이 비싸고 대면적 공정에 적용하기 어려우며 적용할 수 있는 재료의 한계를 극복해야 하는 단점이 있다. 하지만 계속적인 패턴공정의 개선과 새로운 재료의 등장으로 인해 그 활용도는 크게 향상될 것으로 기대된다.

2.3 오프셋(Offset) 인쇄법

오프셋 인쇄법은 인쇄판과 고무롤러를 사용해서 기판에 패턴을 전사하는 방법으로 금속 인쇄판에 칠해진 잉크가 고무롤러를 통해서 종이에 묻게 하는 방식을 사용한다. 현재 단행본, 달력, 잡지 등 대량인쇄 또는 컬러인쇄가 필요한 분야에 널리 사용되고 있지만, 연속공정과 저렴한 공정비용과 같은 우수한 장점으로 인해 유기전자소자의 대량 생산공정에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 오프셋 인쇄법은 공정 방법에 따라 스크린 인쇄법(screening printing)과 그라비아 인쇄법(gravure printing)으로 나뉜다.¹³

2.3.1 스크린 인쇄법(Screening Printing)

스크린 인쇄법은 **그림 5**와 같이 강한 장력으로 당겨진 스크린 위에 잉크를 올려놓고 스퀴지(squeegee)를 가압하여 이동시키면서 스크린의 망사를 통해 잉크를 피인쇄물의 표면으로 전사하는 공정이다. 잉크젯 프린팅과 마찬가지로 재료의 손실이 적은 공정으로서 PDP나 OLED 등의 디스플레이의 제조를 위한 연구가 진행되고 있다.¹⁴ 스크린 인쇄는 롤

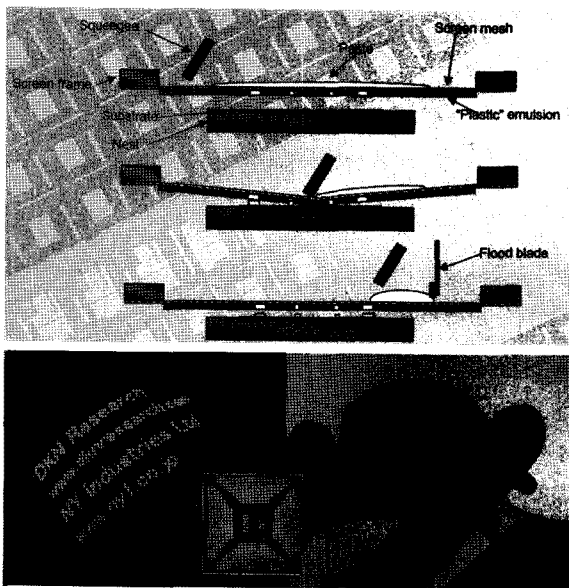


그림 5. 스크린 인쇄법의 모식도와 스크린 인쇄법을 이용하여 제작된 회로 기판.

링, 토출, 판분리, 레벨링 등 4가지 기본과정을 거쳐 진행된다. 롤링이란 스크린 위에서 잉크가 이동하는 스퀴지에 의해 앞쪽으로 회전하게 되는 것으로, 잉크의 점도를 일정하게 유지시켜 균일한 박막을 얻는데 중요한 역할을 한다. 토출과정은 잉크가 스퀴지에 밀려 망사 사이를 통과해 기판 표면으로 밀려나오는 과정으로, 스퀴지의 스크린 각도와 이동속도에 따라 토출력은 변하게 된다. 판분리 과정은 잉크가 기판표면에 도달하여 패턴을 형성한 후 망사가 기판에서 떨어지는 단계로서 해상력과 인쇄의 연속성을 결정하는 중요한 과정이다. 망사를 통과해 표면에 패턴된 잉크는 시간이 경과하면서 용매의 증발에 의해 점도가 증가하고 표면에 고정되면서 패턴을 최종적으로 형성하게 된다. 이러한 과정을 레벨링이라 한다. 스크린 인쇄법을 이용한 연구사례를 살펴보면 프랑스의 F. Garnier 그룹에서는 스크린 인쇄법으로 형성된 소스, 드레인, 그리고 게이트 전극을 기반으로 하는 전유기트랜지스터를 제작 보고하였고, 미국 Stanford 대학의 Z. Bao 그룹에서는 스크린 인쇄법으로 패턴된 폴리이미드(polyimide) 게이트 절연체와 폴리싸이오펜(polythiophene)을 가지는 유기박막트랜지스터를 제작·보고하였다. 뿐만 아니라 **그림 5**에서 보여지는 것처럼 일본의 DKN 연구소에서는 스크린 인쇄법으로 제작된 회로기판을 제작하고 소자구동을 시험하였다.

스크린 인쇄법은 금속스크린 이외에도 나일론이나 폴리에스터와 같은 플라스틱 재료도 망사로 사용이 가능하며, 설비가 간단하고 제판 제작이 쉽기 때문에 값이 싸고 소형의 인쇄에 적합하다. 앞으로 RF-ID tag와 smart tag와 같은 저렴한 유기전자소자를 제작하는 공정에서 기대가 되는 패턴인쇄 공정이다.

2.3.2 그라비아 인쇄법(Gravure Printing)

그라비아 인쇄는 요판인쇄의 일종으로, 요철을 형성한 원통형 판에 잉크를 묻혀 볼록한 부분에 묻은 잉크를 긁어낸 후 오목한 부분에 들어간 잉크를 피인쇄물에 전사하는 방법이다(**그림 6**). 그라비아 판은 동 도금된 실린더에 제판하고 경질 크롬도금 가공한 것이 대부분인데 오목판의 깊이는 2~40 μm 정도가 일반적이다. 현재 그라비아 인쇄는 폭넓은 피인쇄체에 적용될 수 있고 패턴인쇄 공정이 간단하며, 공정속도가 빨라서 다양한 인쇄물 제작공정에 사용하고 있다. 하지만 전자소자 제작공정에 적

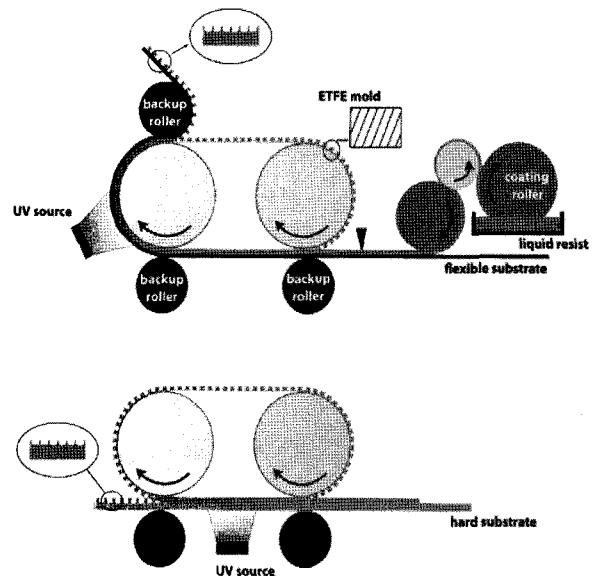


그림 6. Roll-to-roll 그라비아 인쇄법(위)과 roll-to-plate 그라비아 인쇄법(아래).

3. 결론

용하기에는 인쇄 해상도가 낮고 인쇄되는 패턴의 두께가 두꺼운 단점을 지니고 있다. 최근에는 그라비아 인쇄법을 기본으로 하여 보다 높은 해상도를 지닌 인쇄를 가능하게 하는 다양한 응용 그라비아 인쇄방법이 개발되고 있다. 그 중 대표적인 방법들이 그라비아 오프셋(gravure offset) 인쇄법과 역 그라비아 오프셋(reverse gravure offset) 인쇄법이다.

그라비아 오프셋 인쇄법은 그라비아 인쇄법이 가진 낮은 해상도의 단점을 보완하고자 개발된 방식으로서, 오프셋 방식인 그라비아 인쇄법과 blanket roll을 사용하여 인쇄하는 오프셋 방식을 결합한 형태로 구성되었다. 최근에는 이를 더욱 개량한 역 그라비아 오프셋 인쇄법이 개발되었는데, 이는 그라비아 오프셋 인쇄법과 유사하지만 이를 역으로 이용하는 방식을 사용하는데 그 차이점이 있다. 역 그라비아 오프셋 인쇄법은 먼저 blanket roll에 slit die nozzle을 이용하여 얇고 균일한 잉크 박막을 형성하고, 이를 포토리소그래피나 e-beam 리소그래피를 이용하여 패턴이 새겨진 cliché 기관 위에 전이시킨다. 이때 cliché에 새겨진 패턴은 실제 형성하고자 하는 패턴의 역 모양을 가지고 있어서 역 그라비아 오프셋 인쇄법이라 부른다. 이렇게 실제모양의 반대되는 패턴을 cliché를 사용하여 제거한 후에 blanket roll에 남아있는 패턴을 실제 피인쇄체 위에 전사하여 원하는 패턴을 형성하는 방법이 역 그라비아 오프셋 인쇄법이다. 이 방법은 수 백 나노미터의 패턴크기를 가지는 정교한 패턴인쇄를 그라비아 인쇄법으로 구현할 수 있는 장점으로 인해 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 일본의 Toppan 잉크사와 Sony사는 역 그라비아 오프셋 인쇄법을 사용하여 플렉서블한 e-paper용 back plane TFT의 소스와 드레인 전극을 형성하는 기술을 보고하였고, 최근 국내의 LG 디스플레이 사와 삼성전자, ETRI 등에서도 동일한 방식으로 고해상도의 전도성 잉크를 기관에 인쇄하는 것을 보고하였다.

수많은 장점에도 불구하고 그라비아 인쇄법과 그 다양한 응용방법은 여전히 문제점을 가지고 있다. 그라비아 인쇄법은 패턴인쇄공정이 단순하지만 낮은 해상도가 가장 우선적으로 해결해야 할 문제점으로 제시되고 있고, 역 그라비아 오프셋 방법은 높은 잉크 소모율과 인쇄품질의 신뢰성 확보, 인쇄조건에 안정성 확보와 같은 우선과제를 가지고 있다. 따라서 이러한 공정들이 실제 양산공정에 적용되기 위해서는 보다 지속적인 연구가 필요할 것으로 예상된다.

2.4 기타

앞서 소개한 다양한 패턴인쇄 방법 이외에도 현재 많은 연구자들이 다양한 패턴형성기술에 대해 연구를 진행하고 있다. 2009년 Minnesota 대학의 Frisbie 교수팀은 잉크젯 프린팅 방법과 유사한 에어로졸 젯 프린팅 기술을 소개하였다. 이는 용액상태의 잉크가 공급되는 기존 잉크젯 프린팅 방법과는 다르게 ultrasonic atomizer에서 형성된 에어로졸 잉크를 공급된 가스와의 함께 노즐로 이동시켜 기관에 도포되는 방법이다.¹⁵ 이 패턴 방법의 잉크젯 프린팅 공정과는 다르게 연속적인 라인 패턴을 형성할 수 있고 기관과 노즐의 거리가 5 mm 정도를 유지하기 때문에 곡면의 기관 위에도 패턴이 가능하다는 장점이 있다. 또한 가스에 의해 노즐에서 잉크가 분사되기 때문에 사용하는 잉크의 점도에 프린팅 공정이 큰 영향을 받지 않는 장점을 가지고 있다.

레이저 전사 프린팅(laser-induced thermal patterning) 방법은 최근 3 M과 삼성SDI가 LCD용 칼라필터를 패턴인쇄하기 위해 개발한 방법으로 레이저의 초점을 열변환층(light-to-heat conversion layer)에 맞추어 도너필름에 코팅된 소재를 기관에 전사하는 방식이다. 이 방식은 드라이 패턴전사 방식으로서 유기용매의 오염없이 고해상도를 가지는 다층박막의 패턴이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

현재 플렉서블 디스플레이를 위한 저가의 유기전자소자를 제작하기 위해 전세계적으로 기업, 연구소, 대학에서 다양한 패턴인쇄 방법에 대해 연구를 진행하고 있다. 그 중 활용가치가 중요하다고 인정받고 있는 대표적인 패턴인쇄 방법인 잉크젯 프린팅(inkjet printing), 임프린트 리소그래피(imprint lithography), 오프셋 인쇄법(offset printing)과 그 파생 패턴기술에 대해 살펴보았다. 소개된 각각의 패턴공정은 서로의 장단점이 명확하고 형성 가능한 패턴크기가 다르기 때문에 사용하는 공정에 맞는 인쇄방법을 적절히 선택해야 한다. 또한 고분자 및 유기반도체를 이용한 유기박막트랜지스터와 같은 전자소자의 높은 소자성능과 안정성을 확보하기 위해서는 유기물질의 분자수준에서의 정렬, 배향 기술뿐만 아니라 박막의 균일성 확보와 관련된 소재기술이 뒷받침되어야 하고, 실제 소자화를 위해서는 소자의 성격에 맞는 공정을 적용하여야 한다. 최근 용액공정이 가능한 신소재의 개발과 고해상도 프린팅 공정의 발전, 그리고 정밀한 위치제어기술의 개발로 인해 연속 패턴인쇄 공정의 발전은 매우 빠르게 진행되고 있다. 특히 다층박막의 도포가 가능한 roll-to-roll 연속공정에 대한 연구개발이 대학, 연구소, 기업 등에서 활발히 진행되고 있어 앞으로 그리 멀지 않은 미래에 플렉서블 디스플레이를 저비용 대량생산하는 시대가 도래할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Y. -Y. Noh, N. Zhao, M. Caironi, and H. Sirringhaus, *Nature Nanotech.*, **2**, 784 (2007).
2. A. Facchetti, *10th International Meeting on Information Display* (2010).
3. C. Stuart and Y. Chem, *ACS Nano*, **3**, 2062 (2009).
4. S. Pyo, H. Son, K. -Y. Choi, M. H. Yi, and S. K. Hong, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 133508 (2005).
5. H. Klauk, D. J. Gundlach, J. A. Nicholas, C. D. Sheraw, M. Bonse, and T. B. Jackson, *Solid State Technol.*, **43**, 63 (2000).
6. S. Kirchmeyer and K. Reuter, *J. Mater. Chem.*, **15**, 2077 (2005).
7. D. A. Serban, P. Greco, S. Melinte, A. Vlad, C. A. Dutu, S. Zacchini, M. C. Iapalucci, F. Biscarini, and M. Cavallini, *Small*, **5**, 1117 (2009).
8. I. Kymissis, *Organic Field-Effect Transistors: Theory, Fabrication and Characterization*, Springer, 2009.
9. M. Singh, H. M. Haverinen, P. Dhagat, and G. E. Jabbour, *Adv. Mater.*, **22**, 673 (2010).
10. J. A. Lim, W. H. Lee, H. S. Lee, J. H. Lee, Y. D. Park, and K. Cho, *Adv. Funct. Mater.*, **18**, 229 (2008).
11. J. A. Lim, J. -H. Kim, L. Qiu, W. H. Lee, H. S. Lee, D. Kwak, and K. Cho, *Adv. Funct. Mater.*, **20**, 3292 (2010).
12. M. Leufgen, A. Lebib, T. Muck, U. Bass, V. Wagner, T. Borzenko, G. Schmidt, J. Geurts, and L. W. Molenkamp, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 1582 (2004).
13. 노용영, 한현, 배공태, 조아라, and 이혜미, *Information Display*, **1**, 2 (2010).
14. IDTechEX, *Progress in conformal and flexible display*, 20 April (2009).
15. J. H. Cho, J. Lee, Y. He, B. Kim, T. P. Lodge, and C. D. Frisbie, *Adv. Mater.*, **20**, 686 (2008).