




# 미세접촉인쇄 (Microcontact Printing) 기술 동향

	<b>조 정 대</b>
	<b>한국기계연구원</b>


- 첨단산업기술연구부 선임연구원
- 관심분야 : Nanocontact printing, MEMS, Micro Jet
- E-mail : micro@kimm.re.kr

	<b>신 영 재</b>
	<b>한국기계연구원</b>

- 지능형정밀기계연구부 선임연구원
- 관심분야 : Nanomechatronics, Soft Lithography, Nanocontact printing
- E-mail : jhkwon@nongae.gsnu.ac.kr

	<b>김 광 영</b>
	<b>한국기계연구원</b>

- 첨단산업기술연구부 책임연구원
- 관심분야 : 전자디스플레이용 기능성 프린팅, Nanocontact printing
- E-mail : ds5bks@kimm.re.kr

	<b>이 응 속</b>
	<b>한국기계연구원</b>

- 지능형정밀기계연구부 책임연구원(부장)
- 관심분야 : Nanomechatronics, Nano imprinting
- E-mail : les648@kimm.re.kr

## 1. 서 론

최근 해상도(resolution)의 범위가 100nm이하로 내려가면서 새로운 반도체 공정 방법을 시도하게 되었다. 즉, 발전된 리소그래피(lithography)의 영향으로 인하여 현재, extreme UV(EUV) lithography, soft X-ray lithography, electron beam writing 기법의 사용이 시도되고 있다. 하지만, 100nm이하의 해상도를 얻기 위해서 언급된 방법들을 사용하자면 초기자본 및 유지비 등의 비용이 많이 들 뿐만 아니라, 소스가 방사능의 누출을 유발할 수 있기 때문에 환경친화적이지도 않고, 평평하지 않은 표면의 패터닝에는 쉽게 사용할 수 없다는 것도 난제로 떠오르게 되었다. 이러한 한계로 인하여 새로운 방법을 모색하게 되는데, 가장 효율적인 방법이 소프트 리소그래피(soft lithography)이다.<sup>[1]</sup>

소프트 리소그래피는 지금까지 마이크로 또는 나노구조물을 만들기 위해 포토 리소그래피나 복제기술의 대안으로 개발된 몇 개의 리소그래피 기술-microcontact printing(미세접촉인쇄), replica molding(복제 주조), microtransfer molding(미소전이 주조), micromolding in capillaries(모세관내 미소몰딩), solvent-assisted micromolding(용매를 이용한 미소주조)와 엘라스토머 상전이 마스크를 이용한 near-field conformal 포토 리소그래피-을 총칭하여 일컫는 말이다. 이 방법은 주형, 스탬프(stamp) 및 마스크로 패터닝이 가공된 엘라스토머(보통 PDMS)를 이용

하여 패턴을 만들거나 전이한다. 소프트 리소그래피는 포토 리소그래피나 기존의 마이크로 제조 기술보다 많은 장점이 있는데, 평평하지 않은 기층(substrate)이나 특이한 물질 혹은 넓은 면적에 대한 패턴링이 가능하다는 것이다. 특히 MEMS와 응용광학분야의 센서나 마이크로분석시스템의 소자로 사용될 수 있는 비교적 단순하고 단층의 구조물을 제작하는데 유용성이 많다.<sup>[2]</sup>

소프트 리소그래피 공정의 가장 대표적인 방법인 미세접촉인쇄는 금과 은 등의 금속 위에 형성되는 알칸티올레이트(alkanethiolates)인 SAMs(self-assembled monolayers)와 더불어 발전되어 왔다. 미세접촉인쇄의 성공여부는 스탬프와 기층(substrate)사이의 conformal contact, 자가조립(self-assembly) 과정을 통해 잘 정렬되어 생성된 단층(monolayer)이 빠르게 형성되는 정도(1초이하)와 용매제 분자가 표면으로 퍼져나가는 현상을 막아주는 SAM의 친수성(autophobicity)에 달려있다.<sup>[3]</sup>

미세접촉인쇄는 2차원의 형상을 만드는데 가장 적합하지만, 금속 박막도금과 같은 다른 공정과 결합되면 3차원 형상을 만드는데 이용할 수 있다.

미세접촉인쇄를 이용하면 금과 은 위에 있는 알칸티올레이트(alkanethiolate) SAMs의 크기가 500나노미터 이하로 되게 할 수 있고, 100나노미터보다 작게 하기에는 현재의 기술로는 약간의 어려움이 있다.

본 글에서는 미세접촉인쇄의 원리와 공정기술을 통해 규칙적이고 단순한 패턴을 만드는 방법에 대하여 설명하고, 국내외 연구 및 기술동향 등에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 미세접촉인쇄 공정의 이해

미세접촉인쇄(microcontact printing)는 스탬프(stamp)를 만들기 위해 패턴이 가공된 엘라스토머(elastomer) 스탬프를 마스터(master)로부

터 복제해야 한다. 그리고 그것을 monolayer-forming ink에 적신뒤, wet inking이나 contact inking을 이용한다. 적셔진 스탬프는 패턴을 인쇄(printing)하는데 사용되고 이 패턴은 이어지는 에칭(etching)과정에서 중요한 금속 기층(substrate)를 보호한다.<sup>[4]</sup>

그림 1은 미세접촉인쇄의 과정과 공정에서 발생 및 고려되어야할 문제점들에 대하여 나타낸 것이다.

포토리저스트(photoresist) 위에 패턴을 어떻게 정의할 것인가, 코팅은 어떻게 할 것인가가 설계시 우선 고려되어야하며, 제작된 마스터를 사용하여 고해상도의 PDMS 스탬프를 만들기 위해서 고해상도의 Registration 실현방법, 접촉 방지방법, PDMS의 크기 감소문제, Shriking현상, Elastomer의 내구성(탄성도), 표면특성(surface property), 열적 화학적 변화 현상, Interfacial Free Energy값 결정 및 Paring 현상 등의 주요변수가 제작과정에서 고려되어야 한다.

또한, 인쇄과정에 있어서 Printing(inking) 시간, SAM 형성시간, SAM 확산현상 억제방법, Compression 방법, 잉크에 젖는 정도(wettability), 표면접착력(adhesion force), 취성파괴(brittle failure) 현상 및 Sagging 현상 등도 매우 중요한 요소이다.<sup>[5]</sup>

### 2.1 스탬프 제작과정

고해상도의 미세접촉인쇄 공정의 중요한 점은 스탬프 제조, 잉킹 방법, 인쇄시간, 인쇄도구와 에칭시간이다. 또한, 인쇄될 수 있는 패턴 크기는 스탬프에 찍혀있는 패턴, 스탬프에 묻은 잉크의 양, 인쇄에 필요한 힘, 인쇄시간, 에칭시스템, 구조물의 형상 그리고 패턴의 빈 부분이 얼마나 적은가에 영향을 받는다.

미세접촉인쇄에 사용되는 스탬프를 만들기 위한 방법은 패턴의 크기와 제작 가능성에 따라

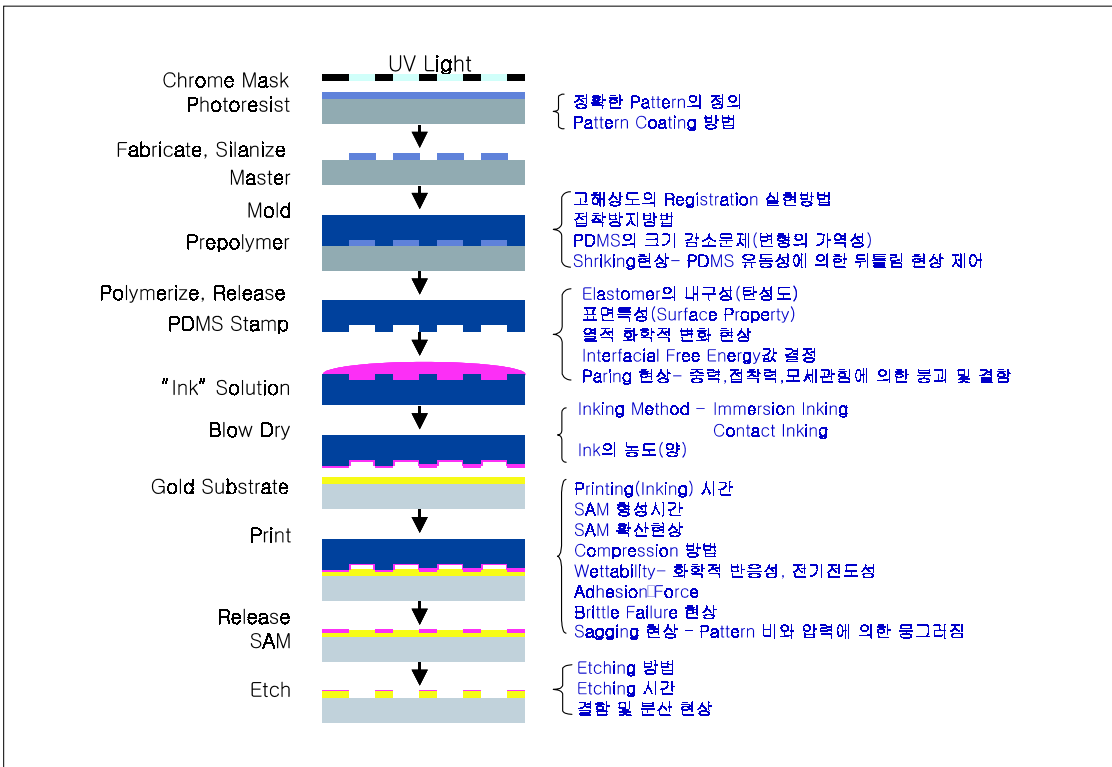


그림 1. 미세접촉인쇄 공정

소프트 스탬프(soft stamp)와 하드 스탬프(hard stamp)로 나눌 수 있다.

먼저, 마이크로 크기의 패턴 형성이 가능한 소프트 스탬프의 제작은 다음과 같다.

- (1) Sylgard 184A(Dow Corning Inc.)와 Sylgard 184B를 교반용 용기에 10 : 1로 섞는다.  
이때, 미세 저울(소수 둘째자리이하)을 이용하여 무게를 측정한다.
- (2) 폴리머 몰드 재료는 손으로 흔들어서 혼합하는 것도 가능하나, Micromixer를 이용하여 섞는다.
- (3) 웨이퍼(wafer)로 만든 마스터 위에 혼합된 실리콘 폴리머를 붓는다.  
- 스탬프를 만들었을 때 이동이나 잉킹을 쉽게 할 수 있을 정도의 두께가 필요.

- 기포가 발생하므로 진공펌프(vacuum pump)를 이용하여 기포를 없앤다.
- (4) 기포를 제거한 후, Drying Oven에 넣어 일정온도에서 경화시킨다.
- (5) 굳어진 스탬프의 원형을 벗겨낸 후, 필요한 부분(마스터 부분)만 올려낸다.

다음은 나노 크기 패턴의 형태를 유지하기 위한 하드 스탬프의 제작과정이다.

- (1) 정밀한 미세저울(소수네째자리이하)을 이용하여 몰드(mold) 재료를 혼합한다.  
- 반응성이 강하며, 몸에 해로우므로 반드시 후드(hood) 내에서 작업이 요망된다.  
- VDT-731 : Sylgard 184A의 역할  
- SIP 6831.1 : 반응 촉매제  
- Fluka 87927 : 접착력 강화제  
- HMS-301 : Sylgard 184A의 역할

- (2) Micromixer를 이용하여 섞는다.
- (3) 혼합된 몰드 재료를 마스터 위에 붓고, Spin Coater를 이용하여 코팅한다.
- (4) Drying Oven에 넣어 일정온도에서 경화시킨다.
- (5) Sylgard 184A와 Sylgard 184B 혼합한 실리콘 폴리머를 코팅된 마스터 위에 붓는다.
- (6) 진공 펌프를 이용하여 기포를 없앤다.
- (7) 기포를 제거한 후, Drying Oven에 넣어 일정온도에서 경화시킨다.
- (8) 굳어진 스탬프의 원형을 벗겨낸 후, 필요한 부분(마스터 부분)만 오려낸다.

스탬프에 생성된 패턴은 인쇄 과정 중에 필요하거나 생기는 힘을 견딜 수 있게 설계되어야 하며, 열에 의해 발생하는 등방성의 일그러짐은 넓은 범위에 걸친 위치정밀도에 중대한 영향을 미치기 때문에 이를 보상하기 위한 방법도 깊이 고찰되어야 한다.

현재 주조 가능한 가장 작은 크기는 50나노미터이다. 미래의 물질은 폴리머 매트릭스에서 결합되지 않은 체인의 개수가 적어야 할 것이며, 화학적 성질뿐만 아니라 굴절률도 조절이 가능하고 표면의 응착현상도 개선되어야 한다.

미래에는 새롭고 수축이 적으며, 매우 순도 높은 폴리머가 스탬프 제조에 이용되어 미세접촉인쇄 방법을 개선하는데 큰 힘이 될 것이다.

## 2.2 SAM 용액 및 잉킹(Inking)공정

미세접촉인쇄에 사용되는 SAM 용액(solution)은 확산 억제(diffusion)와 고 해상도 패턴 구현 등을 고려하고, Au, Ag, Ti 및 Pd(palladium) 등의 기층(substrate)과 우수한 표면 접착력이 필요하다.

SAM 용액의 제작과정은 다음과 같다.

- 1) 일정량(M)의 SAM 용액을 제작하기 위해 에

탄올(ethanol(ethyl alcohol))과 알칸티올레이트 분말가루의 양을 계산한다.

- (2) 분말 가루를 빨리 녹이기 위해 투명 유리병에 Spin Bar(Magnetic Stirring)를 넣은 후 전체 무게를 측정한다.
- (3) Spin Bar가 들어 있는 유리병에 에탄올 일정량(g)을 붓는다. (미세 저울 사용)
- (4) 정밀한 미세저울에 Weighting Paper를 올리고 초기값을 설정한다.
- (5) 알칸티올레이트 분말가루 일정량(g)을 미세저울을 사용하여 측정하고 에탄올이 들어있는 병에 썬는다.
- (6) 알칸티올레이트 분말가루가 녹을 때까지 Stirrer Plate에서 흔들어서 녹이거나 초음파 세척기를 사용하여 순간적으로 녹여도 된다.

스탬프에 잉킹하는 방법에는 Immersion inking과 Contact inking이 있다. Immersion inking은 잉크 용액을 스탬프 위에 떨어뜨리고 일정시간 동안 지속시키는 방법이다. 이 방법은 전달되는 잉크의 평균적인 양만 조절할 수 있다. Contact inking은 스탬프 표면 중에서 잉크가 필요한 부분에만 선택적으로 잉크를 묻힌다. 인쇄된 단층(monolayer)의 완성도는 패턴의 형상에 영향을 덜 받으며, 인쇄 중에 일어나는 티올(thiol)의 확산은 최소화 된다. 이 방법은 모세관 현상으로 스탬프에 새겨진 분해능이 높은 패턴의 변형을 막는다. 전달되는 잉크의 양은 잉크 패드(ink pad)에 사용된 티올 용액의 농도를 바꾸어 조절할 수 있다.

이와 같은 방법으로 만들어진 스탬프와 SAM 용액을 이용한 Immersion inking 및 인쇄 과정은 다음과 같다.

- (1) 접착제(SEM용 Carbon Cement)를 유리기판 위에 바르고, 스탬프를 붙인다

표 1. 미세접촉인쇄 공정용 시험장비

No.	시험장비명	용도	비고
1	Plasma Cleaner High Frequency Generator	- 웨이퍼, 몰드 및 금속표면 개질과 세척이 가능	Piranha Solution
2	Spin Coater	- 몰드 제작 및 잉크물질의 균일한 코팅 가능	
3	Drying Oven	- 스탬프 경화	
4	Micromixer	- 몰드 혼합물의 균일한 혼합	
5	초음파 세척기	- SAM solution 제작 (분말 용해)	Stirrer Plate
6	Vacuum Pump	- 몰드의 기포제거	

- (2) High Frequency Generator 또는 시간 및 정밀도에서 우수한 Plasma Cleaner를 사용하여 스탬프를 세정(cleaning)한다.
- (3) 세정된 스탬프에 일정량의 SAM 용액을 피펫(pipet)으로 묻힌 후, Spin Coater를 이용하여 균일하게 코팅한다.
  - 패턴 크기에 따라 회전속도와 시간을 조절해야 한다.
- (4) SAM 용액이 코팅된 스탬프에 질소(매우 낮은 압력)로 건조(blow)한 후, 공기로 건조(dry)한다.
- (5) 기층 표면의 세정은 Piranha 용액에 넣는 화학적인 방법과 Plasma Cleaner를 사용하는 방법이 있다.
  - Piranha 용액의 구성은 Hydrogen Peroxide 과 Sulfuric Acid 이다.
- (6) 미세저울 위에 기층을 놓고 기층 표면에 스탬프를 찍는다.
  - 패턴 크기에 따라 시간과 누르는 힘을 조절해야 한다.
  - 기층과 스탬프가 붙어 있으면(접착력이 좋으면) 인쇄(inking) 상태가 좋음을 나타낸다.
- (7) 인쇄하고 난 뒤에는 공기로 스탬프 위에 남은 SAM 용액을 제거한다.

금속(Au, Ag, Pd 등)위에 자가조립된 알칸티올(Alkanethiols)이 치밀하고 정돈된 단층을 만

든다. 이러한 단층은 잉크에 젖는 정도나, 응착, 화학적 반응성, 전기전도성 그리고 금속으로 이동되는 물질의 양을 조절할 수 있다. 결함이 없는 레지스트를 만들기 위해서는 단층을 만들기 위한 시간과 충분한 반응물이 필요하지만 잘못하면 티올 분자들이 확산될 수도 있다. 미세접촉인쇄 공정에 사용된 시험장비는 표 1과 같다.

### 3. 미세접촉인쇄의 연구동향

미세접촉인쇄는 하버드대학 연구팀의 박사후 연구생(postdoctoral student)인 에미트 쿠머(Amit Kumar)가 고안해 낸 방식이며, 이 대학의 George M. Whitesides 교수그룹에서 선도적으로 연구를 주도하고 있다.<sup>[7]</sup>

미세접촉인쇄와 관련된 국내 연구는 한국기계연구원, KAIST, 성균관대학교, 포항공과대학교와 한양대학교 등이 있으며, KAIST 양승만 교수팀은 100nm 이하의 PDMS 패턴으로부터 미세접촉인쇄를 이용하여 자기 조립 박막 패턴의 해상도 향상을 위해 나노복합체 형태의 PDMS 몰드의 개발, 표면성질이 100nm 이하의 크기로 조절된 패턴 위에 선택적으로 나노미터 크기의 자기 입자를 포함한 나노미터 크기의 액적을 제조하고 이를 통한 나노크기의 규칙적인 패턴을 가진 자성 박막 제조 및 V-Shape groove를

몰드로 사용하여 얻어진 PDMS 패턴을 이용하여 100nm 이하의 패턴을 형성하고 나노 스테이지를 이용하여 소자 제작 등의 연구를 수행하고 있다.<sup>[12]</sup>

성균관대학교 정덕영 교수팀은 표면특성 변화에 의한 박막의 미세 패터닝 분야에 대한 연구에서, 자기조립 단분자막을 이용 선택적인 에칭이나 선택적 증착과정에서 박막에 패턴을 형성

하는 기술, OTS 등의 유기분자의 자기조립 단분자막을 이용 분자 저항체와 주형으로서 박막합성하는 기술, Cu, Pt, Pd, TiO<sub>2</sub> 등의 패터닝 금속박막은 금속-유기 화학기상 증착법 (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)을 통한 증착기술, LiNbO<sub>3</sub>, (Pb,La)TiO<sub>3</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub>, LaMnO<sub>3</sub> 등의 산화물 패턴의 졸-겔법에 의한 박막기술 연구를 수행하고 있다.

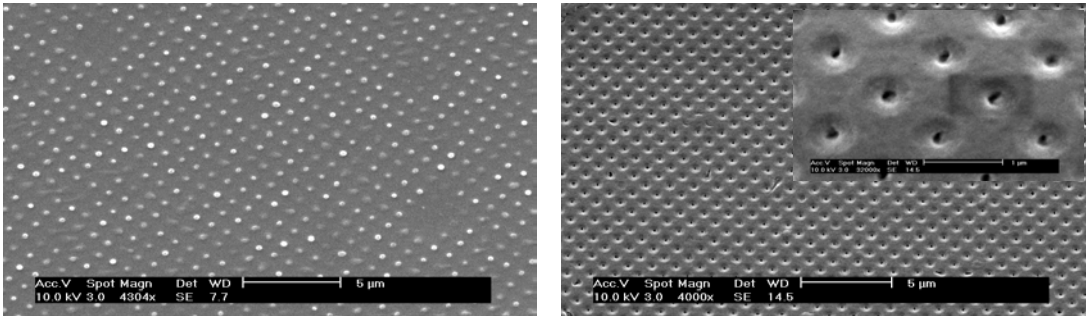


그림 2. Soft mold 제작 및 replica 제작<sup>[12]</sup>

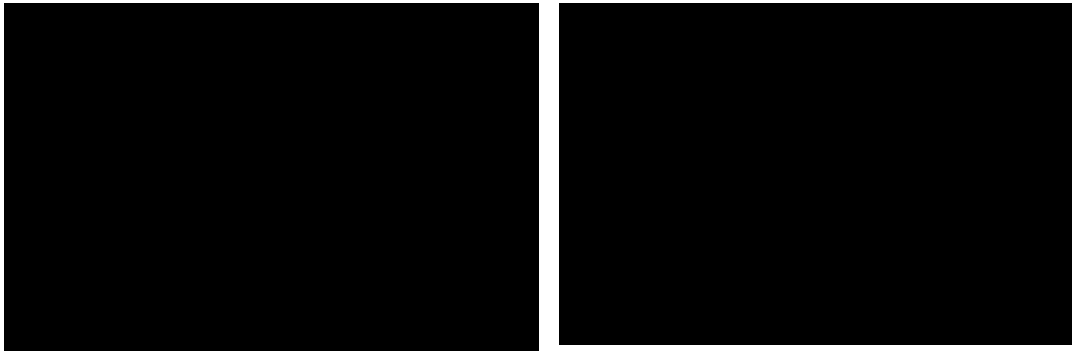


그림 3. 표면특성 변환에 의한 박막의 미세 패터닝 분야<sup>[13]</sup>

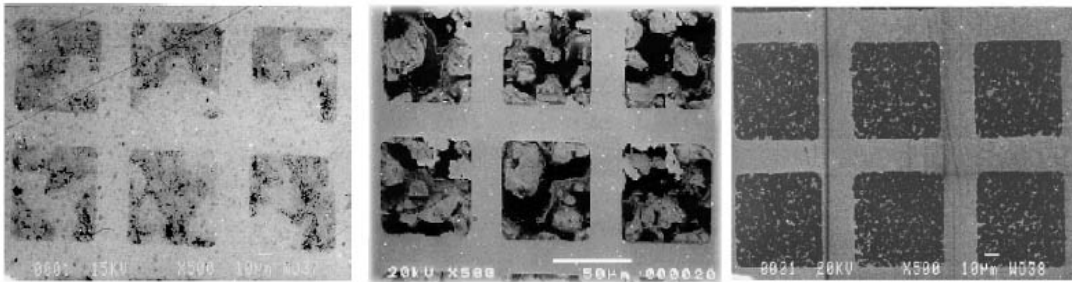


그림 4. The pattern of silver colloids(PDMS Stamp)<sup>[15]</sup>

KAIST 김학성 교수팀은 Microcontact printing 방법을 이용한 생체분자의 patterning 기술과 이를 이용한 단백질의 microarray 기술 개발 연구 PDMS 스탬프(선폭: 400 $\mu\text{m}$ )의 개발, Chip 표면(10 $\times$ 10mm 크기)에 8 $\times$ 8수준의 array제작, 동일 단백질을 채용한 8 $\times$ 8수준의 생체분자 microarray 제작 및 제작된 생체분자 microarray의 물리화학적 분석기술 확립을 수행하고 있다.<sup>[14]</sup>

포항공과대학교 김승빈 교수팀은 안정하고 정돈된 자기 조립 박막 개발 및 구조, 배향 분석, 표면에서 개시된 올리고머와 polymer brush 개발 및 구조, 배향 분석, Microcontact printing 을 이용한 패턴 형성과 응용과 고분자로 안정화된 금속 나노 입자 합성과 고분자 전해질로의 응용 등에 대한 연구와 AZP4620[Clariant Industries(Korea) Ltd.] photoresist를 이용하여 마스터를 만들고 이를 이용하여 PDMS[(poly (dimethyl siloxane))] 스탬프의 제작과 dendrimer-

stabilized Ag-sol을 기능성 물질로 이용하여 microcontact printing 연구를 수행하고 있다.<sup>[15]</sup>

KAIST의 김종득 교수팀은 100 nm 이하의 반도체 공정방법 연구를 수행하고 있으며,<sup>[16]</sup> 경북대학교 김경만 교수팀은 고분자 박막의 측면 패터닝 연구를 수행하고 있으며, 한양대학교 이해원 교수팀은 유기물 단분자 및 고분자 자기 조립체 등을 이용한 나노패턴 형성 및 분자소자 개발 각인 공정 등을 통한 대면적 나노 패터닝 형성 연구를 수행하고 있다.<sup>[16][17]</sup>

미세접촉인쇄와 관련된 국외 연구는 하버드대학 Gorge M. Whiteside 교수그룹, IBM Zurich Research Lab., IBM Watson Group. 스위스 EPFL대학과 일본의 AIST와 동경대 등에서 연구를 수행하고 있다.

IBM Zurich Research Lab.의 E. Delamarche, H. Schmid, H.Biebuyck, B. Michel 는 최근 논문 (1) Contact-Inking Stamps for Microcontact Printing of Alkanethiols on Gold,

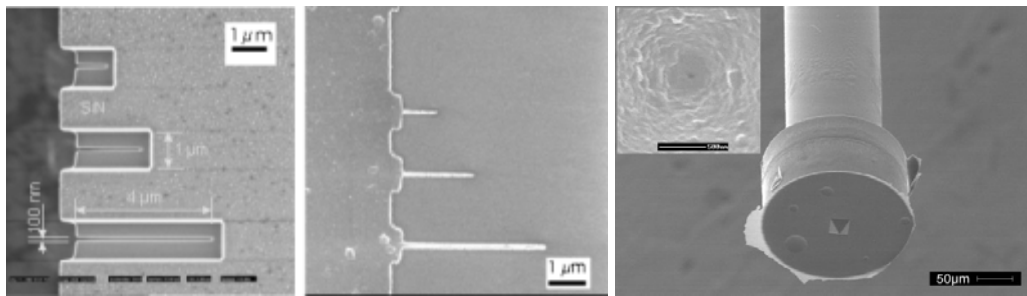


그림 5. MELODE and NSOM probe<sup>[20]</sup>

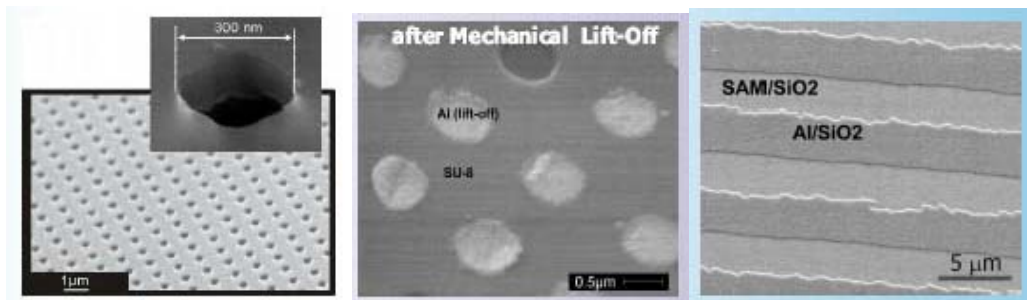


그림 6. Shadow mask, mechanical lift-off, and uCP<sup>[21]</sup>

- (2) Patterned Electroless Deposition of Copper by Microcontact Printing Palladium(II) Complexes on Titanium-Covered Surfaces,  
 (3) Conformal Contact and Pattern Stability of Stamps Used for Soft Lithography,  
 (4) Microfluidic Networks made of Polydimethylsiloxane, Si and Au coated with Polyethylene Glycol for Patterning Proteins onto Surfaces에서 고정도 미세접촉인쇄기술 및 응용분야에 대한 연구 내용을 발표하였다.<sup>[18][19]</sup>

스위스 EFPL대학의 Jürgen Brugger 교수팀은 자기조립 단분자막 통한 표면처리기술과 나노스텐실분야의 새로운 패터닝 기술 연구를 수행하고 있다.<sup>[20]</sup>

일본 동경대의 김범준 교수팀은 프랑스 IENM/CNRS 공동연구를 수행하고 있으며, 자기조립 단분자막을 이용하여 실리콘 표면에 10nm 이하의 소수성 단분자막을 만들어 표면 마이크로머시닝의 문제인 고착성(stickiness)을 해결하는 새로운 표면처리법의 연구, 높은 어스펙트비(aspect ratio)로 간단하게 제작할 수 있는 UV-light polymer의 마이크로 구조(SU-8)에서의 메탈 패터닝 전사기술과 고도의 SAM의 구조규제와 형성과정 등의 연구를 수행하고 있다.<sup>[21]</sup>

Kimberly-Clark Worldwide사의 Dennis S. Everhart는 Method of Contact Printing on Gold Coated Films(US6048623)과 Polymer Film Having a Printed Self-Assembling Monolayer (US6020047)에서 알칸티올레이트, 카르복실산, 히드록삼산 및 포스폰산의 패터닝된 자기조립 단일막을 니켈/금과 같은 합금을 사용하여 금속 처리한 열가소성 막에 접촉인쇄하는 방법에 대한 특허를 출원하였다.<sup>[8][9]</sup>

성균관대학교 정덕영교수와 삼성 SDI는 미세접촉인쇄와 선택적 화학 용액 증착법을 이용한 황화카드뮴 박막의 형상화 방법(KR10-2000-0004105)에서 고분자 도장을 사용하여 유기

박막을 기판 위에 인쇄하고 화학용액 증착법을 사용하여 유기 박막이 없는 표면에만 황화카드뮴 박막을 증착시켜 패터닝 시킬 수 있는 미세접촉 인쇄와 선택적 화학 용액 증착법을 결합하여 황화카드뮴 및 다양한 단층 박막들을 형성하는 방법에 대한 특허와 미세접촉인쇄를 이용한 고분자 박막의 형상화방법(KR10-2000-0038432)에서 실리콘 웨이퍼 위에 포토레지스트를 사용한 노광, 현상, 에칭 공정을 통하여 원하는 형태의 주형을 형성시키는 방법, 주형 위에 고분자 수지를 부어서 가교시키고 주형으로부터 분리하여 미세 인쇄판을 제조하는 방법, 미세 인쇄판 표면에 소수성 물질을 코팅하는 방법, 미세 인쇄판을 전극기판에 접촉인쇄하여 소수성 유기막 형성시키는 방법 및 전극기판상에서 소수성 유기막이 형성되어 있지 않은 부분에 화학 기상 증착법 또는 졸-겔법을 사용하여 부도체격벽 형성하는 방법에 대하여 논하고 있다.<sup>[10][11]</sup>

하버드대학교 Geoge M. Whitesides 팀의 1) Method of Etching Articles via Microcontact Printing(US 5900160), 2) Microcontact Printing of Catalytic Coloids(US 6060121) 및 3) Microcontact Printing on Surfaces and Derivative Articles(US 6180239 B1)와 IBM의 Craig Jon Hawker와 Lupton Hedrick는 1) Method of Forming Patterned Indium Zinc Oxide and Indium Tin Oxide Films via Microcontact Printing and Uses Thereof(US 6380101 B1, 2002), 2) Method for Forming Polymer Brush Pattern on a Substrate Surface(US 6413587 B1, 2002) 및 3) Process for Preparing a Patterned Continuous Polymeric Brush on a Substrate Surface(US 6423,465 B1, 2002)에서 곡면인쇄와 다양한 방법(평면 및 곡면)의 적층인쇄를 설명하고 있다.



4. 요약 및 전망

미세접촉인쇄 기술은 생체분자의 패터닝-바이오센서(biosensor), 크로마토그래피(chromatography), 면역성 진단, 세포배양, DNA 미소정렬-분야에 나노패턴 및 microfluidic channel 형성을 하기 위하여 뛰어난 응용성을 보여준다. 단점이라면 금(Au)과 같은 금속을 이용해야하므로 분자 말단에 티올의 기능성(thiol functional group)을 반드시 도입해야하는 단점이 있고 대면적의 균일한 패턴형성은 어렵다는 점이다. 두 기술이 적절하게 조화된다면 다층(multi-level) 인쇄방식을 통해서 최상의 나노패턴 형상을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

또한, 미세 접촉 인쇄가 포토리소그래피의 핵심적인 응용분야 즉 미소전자공학을 차지하기 위해서는 많은 수의 문제점들이 해결되어야 한다. 먼저, 엘라스토머를 이용한 고해상도(20nm 이하) 적용과정이 실험적으로 검증되어야 한다. 엘라스토머 물질과 연관된 일그러짐이나 변형 또한 다루어져야 할 것이며 패턴 전송은 정확한 재현성을 가지고 있어야 한다.

다음으로, 생성된 패턴과 구조물의 품질이 개선되어야 한다. 특히 좁은 선들의 이러한 패턴은 아직 복잡한 전자기기의 미세패턴 형성기술에서 필요한 수준까지도 도달하지 못하였다. SAM에서 나타나는 결합의 형성과 분포 그리고 특히 그들의 에칭의 레지스트로 사용되어졌을 때 형성된 패턴의 품질에 미치는 영향들은 연구되고 개선되어야 한다.

또한, 이러한 패터닝 기술이 미소전자 회로의 생산과정에서 사용되는 공정에 적합한지의 여부가 연구되어야 한다. 특히 반도체 위에 자가조립단층을 직접적으로 형성하거나 현재 공정(특히 식각)이나 사용된 물질과의 적합성이 최적화된 시스템이 필요하다. 미소 구조물들의 연구자와 제조자들은 미소 패턴 형성기술에 대하여 특정한 요구 사항들을 가지고 있다. 개발 과정중

의 융통성, 재현성, 신뢰성, 단순성과 상업적인 성공을 위한 비용의 효율성 등이 그것이다.

참 고 문 헌

- [1] 신영재, 이응숙, 정준호, '소프트 리소그래피 기술', 기계와 재료, 제14권 제1호, 2002년
- [2] 정준호, 신영재, 이응숙, '나노구조물들의 제작 및 패터닝 기술', 기계와 재료, 제14권 제1호, 2002년
- [3] B. Michel, A. bernard, A. Bietch, E delamarche, M. Geissler, D. Junker, H. Kind, J.-P. Renault, H. Rothuizen, H. Schmid, P. Schmit-Winkel, R. Stutz, and H. Wolf, 'Printing Meets lithography : Soft approaches to high-resolution patterning', IBM J. RES. & DEV. VOL. 45 NO. 5, 2001
- [4] A. Bernard, J.P. Renault, B. Michel, H.R. Bosshard, E. Delamarche, 'Microcontact Printing of Proteins', Advanced materials, Vol. 12, no. 14, 2000
- [5] A. Bietsch, B. Michel, 'Confomal Contact and Pattern Stability of Stamps used for Soft Lithography', Journal of Applied Physics, Vol. 88, no. 7, 2000
- [6] H. Kind, M. Geissler, H. schmid, B. Michel, K. Kern, E. Delamarche, 'Patter-ned Electroless Deposition of Copper by Microcontact Printing Palladium(II) Complexes on Titanium-Covered Surfaces', Langmuir, Vol. 16, no. 16, 2000
- [7] George M. Whitesides, J. Christopher Love, 'Nano Fabrication : The Art of Building Small', Scientific American, 2001
- [8] Dennis S. Everhart, George M. Whitesides, 'Method of Contact Printing

- on Gold Coated Films', US Patent No. 6048623, 2000
- [9] Dennis S. Everhart, 'Polymer Film Having a Printed Self-Assembling Monolayer', US Patent No. 6020047, 2000
- [10] 정덕영, 권영욱, 황영규, 이종현, 우수연, '미세접촉인쇄와 선택적 화학 용액 증착법을 이용한 황화카드뮴 박막의 형상화 방법', 10-2000-0004105, 2000
- [11] 김우홍, 송인성, 김영관, 정덕영, 권혁주, 이종현, '미세접촉인쇄를 이용한 고분자 박막의 형상화 방법', 10-2000-0038432, 2000
- [12] 양승만교수팀(KAIST), <http://msfl.kaist.ac.kr/>
- [13] 정덕영교수팀(성균관대학교), <http://chem.skku.ac.kr/~dyjung/>
- [14] 김학성 교수팀(KAIST), <http://bs.kaist.ac.kr/~hskim/>
- [15] 김승빈교수팀(포항공과대학교), <http://www.postech.ac.kr/~sbkim/>
- [16] 김종득 교수팀(KAIST) <http://tie.kaist.ac.kr/>
- [17] 이해원교수팀(한양대학교) <http://otfl.hanyang.ac.kr/>
- [18] IBM Watson Group, <http://www.watson.ibm.com/>
- [19] IBM Zurich Research Lab., <http://www.zurich.ibm.com/st/microcontact/index.html/>
- [20] EFPL, Prof. Jürgen Brugger, <http://lmis1.epfl.ch/index.htm>
- [21] University of Tokyo, Beomjoon KIM, <http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/~bjoonkim/index.html/>
- [22] AIST, Wataru Mizutani, <http://unit.aist.go.jp/nanotech/>