

미세접촉인쇄기법을 이용한 미세패턴 제작

조정대*, 이응숙(한국기계연구원), 최대근, 양승만(한국과학기술원 생명화학공학과)

Fabrication of Micropattern by Microcontact Printing

Jeongdai Jo, Eung-Sug Lee(KIMM), Dae-Geun Choi, Seung-Man Yang(Dept. of Chemical & biomolecular Eng., KAIST)

ABSTRACT

In this work, we developed a high resolution printing technique based on transferring a pattern from a PDMS stamp to a Pd and Au substrate by microcontact printing

Also, we fabricated various 2D metallic and polymeric nano patterns with the feature resolution of sub-micrometer scale by using the method of microcontact printing (μ CP) based on soft lithography. Silicon masters for the micro molding were made by e-beam lithography. Composite poly(dimethylsiloxane) (PDMS) molds were composed of a thin, hard layer supported by soft PDMS layer.

From this work, it is certificated that composite PDMS mold and undercutting technique play an important role in the generation of a clear SAM nanopattern on Pd and Au substrate.

Key Words : microcontact printing(미세접촉인쇄), self-assembled monolayer(SAM, 자가조립막), PDMS(poly(dimethylsiloxane)) stamp(PDMS 스탬프), micro pattern(미세형상), soft lithography(소프트 리소그래피)

1. 서론

최근 해상도(resolution)의 범위가 100nm 이하로 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, 100nm 이하의 해상도를 얻기 위해서 언급된 방법들을 사용하자면 초기자본 및 유지비용의 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.^[1]

미세접촉인쇄는 PDMS(poly(dimethylsiloxane)) 스탬프를 제작하고 패턴부분에 기능성(functional)을 부여하여 기층(substrate)위에 전이시키고, 식각공정

또는 증착공정을 통하여 몰드(mold)와 동일한 패턴을 얻는 기술이다.^[2]

본 연구에서는 미세접촉인쇄 기법을 이용하여 마스터(master)와 동일한 패턴 제작을 수행하였다.

시험 결과, 미세접촉인쇄기법을 이용하여 제작할 수 있는 패턴 크기는 스탬프에 찍혀있는 패턴, 스탬프에 묻은 잉크의 양, PDMS 스탬프와 기층사이의 conformal contact, 인쇄에 필요한 힘, 인쇄시간, 자가조립막이 빠르게 형성되는 시간, 용액 분자가 표면으로 퍼져나가는 현상을 막아주는 SAM의 친수성(autohobicity), 에칭시스템, 구조물의 형상 그리고 패턴의 빈 부분이 얼마나 적은가에 영향을 받는다는 것을 확인하였다.

2. 미세패턴 제작

2.1 연구방법

본 연구에서 사용된 실리콘 마스터는 전자빔 식각에 의해서 음각(negative) 구조로 만들어졌다. 물

드의 재료로 사용된 PDMS 와 h-PDMS 의 재료는 다우코닝사(Dow-corning)의 Sylgard 184 와 Gelest, Inc 의 시약들을 사용하였다. 미세패턴이 새겨진 마스터 위에 몰드재료들을 넣고 60 °C에서 2 시간동안 반응시켜 몰드를 제작하였다. 잉크물질로는 일반적으로 많이 사용되는 티올(thiol) 관능기를 가지는 옥타데칸티올(Octadecanethiol) 과 자기조립 특성을 보이는 유기물 및 폴리머들이 사용되었다. 기질로 (substrate)로 사용된 물질은 실리콘 웨이퍼와 실리콘 웨이퍼위에 팔라듐(palladium)이나 금(gold)이 코팅된 기질을 사용하였으며 접착력을 증가시키기 위해 접착층으로 크롬(Cr)을 사용하였다. 금과 팔라듐과 같은 귀금속의 에칭을 위해 FeCl₃-based 된 에칭 용액을 사용하였다.

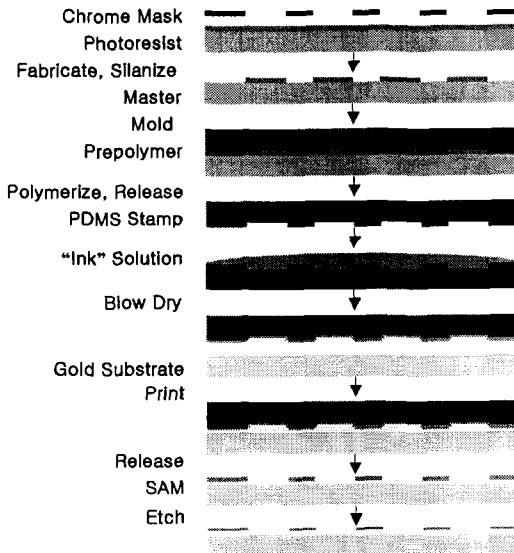


Fig. 1 Block diagram of experimental schemes

Fig. 1 은 미세접촉인쇄의 과정에 대하여 나타낸 것이며, 포토레지스트(photoresist) 위에 패턴을 어떻게 정의할 것인가, 코팅은 어떻게 할 것인가가 설계시 우선 고려되어야하며, 제작된 마스터를 사용하여 고해상도의 PDMS 스탬프를 만들기 위해서 고해상도의 Registration 실현방법, 접착방지방법, PDMS 의 크기 감소문제, Shriking 현상, Elastomer 의 내구성(탄성도), 표면특성(surface property), 열적 화학적 변화 현상, Interfacial Free Energy 값 결정 및 Paring 현상 등의 주요변수가 제작과정에서 고려되어야 한다.^[1]

또한, 인쇄과정에 있어서 Printing(inking) 시간, SAM 형성시간, SAM 확산현상 억제방법, Compression 방법, 잉크에 젖는 정도(wettability),

표면접착력(adhesion force), 취성과괴(brittle failure) 현상 및 Sagging 현상 등도 매우 중요한 요소이다.^[4]

3. 실험결과 및 고찰

3.1 스탬프 제작 및 패턴 전이

미세접촉인쇄는 스탬프를 만들기 위해 패턴이 가공된 마스터로부터 PDMS 스탬프를 복제해야 한다. 그리고 immersion inking 또는 contact inking 방법을 이용하여 SAM 용액에 적신다. 적셔진 스탬프로 패턴을 인쇄하고, 이 패턴은 에칭과정에서 금속 기층을 보호한다.^[5]

Fig. 2 는 실리콘 마스터 위에 복합체 폴리머 재료를 넣어 반응시켜 만든 s-PDMS 스탬프(soft PDMS stamp)를 나타낸 것이며, 다양한 크기의 패턴을 구현하였다.

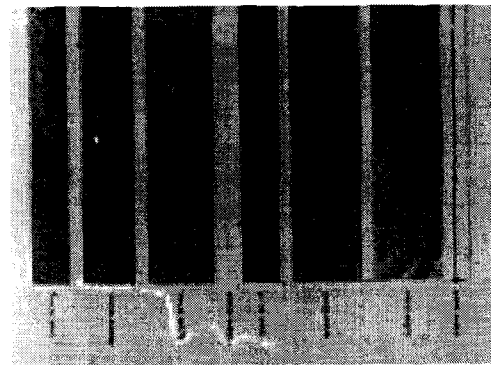


Fig. 2 Soft PDMS stamp made by micro pattern of various size

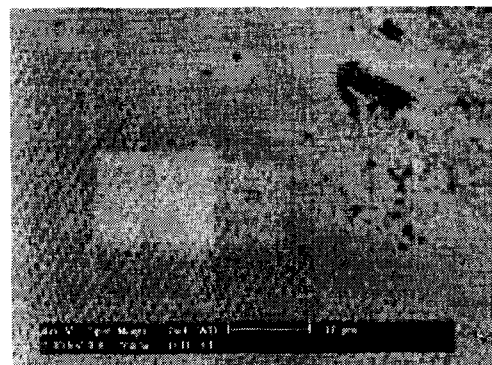


Fig. 3 Ink transfer by microcontact printing

Fig. 3 은 실험에 사용된 여러 가지 잉크물질 중에서 자체적으로 자가조립(self-assembling)하여 미세 구조를 가지는 패턴을 웨이퍼 위에 전이 시킨 것이다. Fig. 3 에서 보면 잉크의 확산에 의해서 패턴의

크기가 실제보다 커지고 패턴간의 간격이 좁아진 것을 알 수 있다.

PDMS 스탬프를 제작하고 패턴 부분에 기능성을 부여하여 기층 위에 잉크를 전이 시키고, 식각공정을 통하여 마스터와 동일한 패턴을 얻는 SEM 사진을 Fig. 4, 와 Fig. 5 에 나타내었다.

Fig. 4 는 Pd 와 Au 기층 위에 옥타데칸티올 잉크 물질을 전이시켜 형성된 패턴이며, 패턴사이즈는 30 μ m 이다.

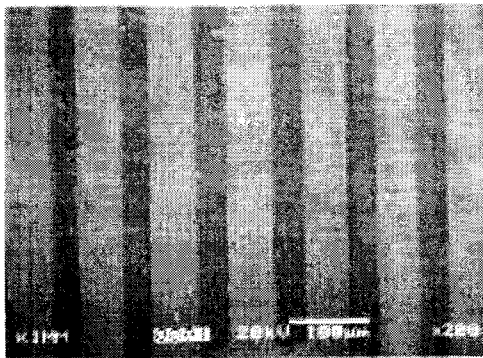


Fig. 4(a) Fabrication of micro pattern by microcontact printing on Pd

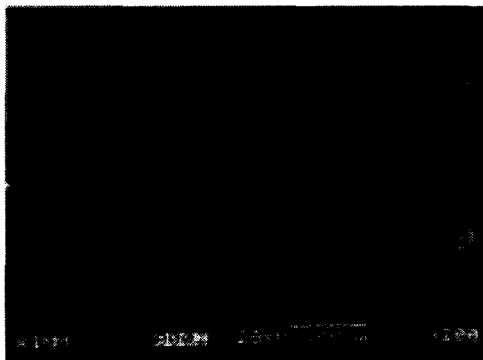


Fig. 4(b) Fabrication of micro pattern by microcontact printing on Au

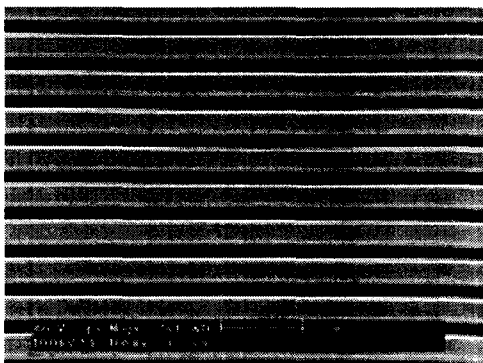


Fig. 5 Fabrication of 500nm pattern on Au

Fig. 5 는 실리콘 웨이퍼위에 금(Au)이 코팅된 기질을 FeCl₃ 기본으로 하는 용액에 식각 시킨 후에 형성된 패턴을 나타낸 것이며, 패턴 크기는 500nm 이다.

4. 결론

본 연구에서는 PDMS 스탬프를 제작하고 패턴 부분에 기능성을 부여하여 기층위에 전이시키고, 식각공정을 통하여 몰드와 동일한 패턴 제작을 수행하였다.

시험결과, 다양한 크기의 패턴을 가지는 s-PDMS 스탬프를 구현하였으며, palladium(Pd)와 금(Au)기층 위에 옥타데칸티올 잉크물질을 전이시켜 30 μ m 와 500nm 패턴을 결함 없이 제작하였다.

본 기술의 확립시 기존의 광식각 공정을 대신하여 미세접촉인쇄 공정이 반도체 공정 및 생물 및 전자소자의 패터닝 공정에 사용되어지는데 중요한 기여를 할 수 있으며, 특히 MEMS 와 응용광학분야의 센서나 마이크로분석시스템의 소자로 사용될 수 있는 비교적 단순하고 단층의 구조물을 제작하는데 매우 유용하게 활용할 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

1. B. Michel, A. Bernard, A. Bietch, E. Delamar, 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
2. Dae-Geun Choi, Seung-Man Yang, Hyung Kyun Yu, Jeongdai Jo, Eungsug Lee, "Fabrication of Multifunctional Self-Assembled Monolayers by Microcontact Printing and Their Application for Electronic and Biological Devices", KSME, 2003
3. H. Schmid and B. Michal, 2000, "Siloxane Polymers for High-Resolution, High -Accuracy Soft Lithography", Macromolecules, Vol, 33, No. 8, pp. 3042~3049.
4. Jeongdai Jo, Kwangyoung Kim, Young-jae Shin, Eungsug Lee, "Trend of Microcontact Printing Technology", KIMM, Report, Vol. 15 No. 1, 2003
5. A. Kumar and G. M. Whitesides, 1993, "Features of gold having micrometer to centimeter dimensions can be formed through a combination of stamping with an elastomeric stamp and an alkanethiol "ink" followed by chemical etching", Appl. Phys. Lett. Vol, 63, No. 14, pp. 2002~2004.