

◆ 특집 ◆ 나노 패터닝 기술

나노 복제 기술을 이용한 나노 패턴의 제작 및 응용 기술

Nano Replication Technology of Nano Patterns and Application Fields

한정원¹, 최준혁², 유영은², 김병희³, 이재숙⁴, 강신일^{1,✉}
Jeongwon Han¹, Jun-Hyuk Choi², Yeong-Eun Yoo², Byeong Hee Kim³, Jaesook Lee⁴ and Shinill Kang^{1,✉}

¹ 연세대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.)

² 한국기계연구원 나노융합기계연구본부 (Nano-Mechanical Systems Research Division, Korea Institute of Machinery and Materials)

³ 강원대학교 기계메카트로닉스공학과 (Division of Mechanical Engineering and Mechatronics, Kangwon National Univ.)

⁴ 제이엠아이주식회사 연구소 (Research and Development Center, Jeongmoon Information Co., Ltd)

✉ Corresponding author: snikang@yonsei.ac.kr, Tel: 02-2123-2829

Key Words: Nano Replication Process (나노 복제 공정), Nano Pattern (나노 패턴), Nano Mold (나노 몰드), Anti-adhesion Layer (이형층), Nanoimprinting (나노임프린팅), Injection Molding (사출 성형)

1. 서론

광전자, 정보저장, 생명공학 등의 다양한 분야에서 나노 크기의 패턴을 지닌 제품에 대한 관심 및 수요가 증대되고 있다. 이러한 나노 패턴을 제작하기 위해 다양한 나노 패턴 제작 기술들이 연구되어 왔다. 전자빔 리소그래피와 집속이온빔 등의 기술을 이용 나노 패턴을 직접 제작하는 방법은 나노 패턴 제작에는 유용하게 이용될 수 있으나, 공정시간이 길고 단가가 높아 대량 생산에 나노임프린팅 기술과 사출성형 기술과 같은 나노 복제 공정기술이 짧은 공정 사이클 타임과 낮은 제작단가 등의 장점이 있어 대량 생산에 적합한 것으로 알려져 있다.

나노 복제 공정기술을 응용하기 위해서는 최종 나노 복제품과 반대형상을 지닌 나노 몰드를 제작하는 기술이 요구 되며, 이러한 나노 몰드의 성능은 최종 복제되는 나노 패턴의 성능을 결정한다. 최초 나노 몰드의 제작을 위해 다양한 나노 패터닝 방법이 응용될 수 있다. 또한, 다양한 나노 패터닝 공정을 이용하여 초기 나노 패턴을 제작하고, 나노 복제 공정을 통하여 폴리머 몰드를 제작하거나 전기주조를 통해 금속 몰드를 제작할 수도 있다. 복제 공정

기술을 이용한 나노 패턴의 성형에 있어서 나노 몰드 표면과 폴리머 사이에 형성되는 접착현상 등의 계면현상은 성형되는 최종 폴리머 나노 패턴의 표면 품질 및 형상 특성에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 이에 소수성의 표면 특성을 지닌 자기조립단분자막 등의 점착방지막을 나노 몰드 상에 증착하여 표면 에너지를 감소시킴으로 이형 특성을 향상시키는 기술이 요구된다.

본 논문에서는 나노 패턴의 복제 성형 공정기술에 사용될 나노 몰드 제작 기술과 나노 몰드의 이형특성 향상기술 및 다양한 나노 복제 공정기술들에 대하여 소개하고자 한다. 마지막으로 나노 복제 공정기술을 응용하여 제작 가능한 자기정보저장매체, 광정보저장매체, 광학표면 등의 응용 예 또한 소개하고자 한다.

2. 나노 몰드 제작 기술

나노 패턴의 복제 공정기술을 이용한 제작을 위해서는 제작하고자 하는 나노 패턴의 반대형상을 표면에 지닌 나노 몰드의 제작이 필수적으로 요구된다. 이러한 나노 몰드의 성능은 복제 공정에서 최

중 제작되는 나노 패턴의 성능을 결정한다

2.1 전자빔 리소그래피 기술

나노 패턴링 기술로써 가장 널리 이용되는 방법으로 전자빔에 의해 감광되는 폴리머 레지스트를 사용하여 전자빔이 주사된 부분을 향후 현상공정에서 제거하는 방법이다. 현재 알려진 어떤 나노 패턴링 기술보다 작은 크기의 나노 패턴링이 가능하다. 먼저 전자빔 리소그래피 기술을 이용하여 초기 패턴을 제작하고 이방성 건식식각 공정을 통해 초기 패턴의 형상을 실리콘 기판으로 전사시켜 최종 실리콘 몰드를 제작한다. 그림 1 은 전자빔 리소그래피 및 식각공정을 응용한 실리콘 몰드의 제작 결과이다.^{1,2}

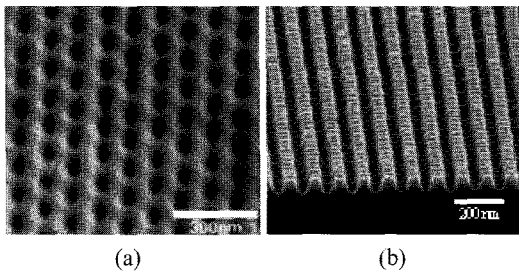


Fig. 1 SEM images of (a) nano pillar array pattern and (b) nano hole array pattern with 50nm diameter and 100nm pitch on silicon mold

2.2 집속이온빔 가공 기술

집속이온빔(focused ion beam)을 응용하여 나노 패턴을 제작하는 방법으로 기판의 종류에 관계없이 어떤 재료라도 직접 가공할 수 있다. 이로 인해 집속이온빔 가공 공정을 응용할 경우, 식각 공정이 없이 경한 재질의 나노 몰드를 직접 가공할 수 있으

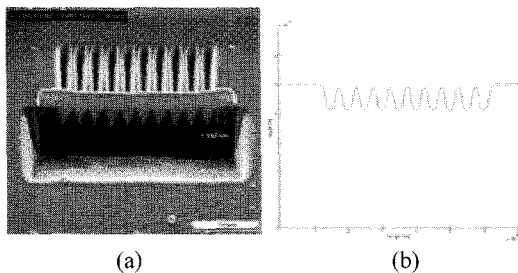


Fig. 2 (a) SEM image of fabricated nano hole array pattern on silicon mold and (b) simulated focused ion beam milling result

므로 나노 몰드 제작 공정이 단순해지며, 다양한 재료의 몰드를 만들 수 있는 장점이 있다. 이온빔이 조사되는 시간, 동일 위치의 가공 횟수, 이온빔의 집속 크기 등을 조절함으로써 가공의 깊이 및 크기 등을 조절할 수 있다. 그림 2 는 집속이온빔 가공 공정을 통하여 제작된 실리콘 몰드 및 집속이온빔 가공 시뮬레이션 결과이다.³

2.3 알루미늄 양극산화 공정 기술

알루미늄 양극산화(anodic aluminum oxidation, AAO) 공정은 전기화학적 반응으로 산성 전해액 속에서 알루미늄을 전기적으로 산화시키면 생성된 알루미늄 이온과 전해액의 산소가 결합하여 알루미늄 산화막을 표면에 형성하는 기술이다. 이는 기존 규칙적인 나노 패턴 제작을 위해 사용된 직접가공 방식들에 비하여 적은 예산과 시간으로 간단히 잘 정렬되고 균일한 나노 패턴을 쉽게 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 그림 3 은 알루미늄 양극산화 공정을 통하여 제작된 나노 몰드이다.⁴

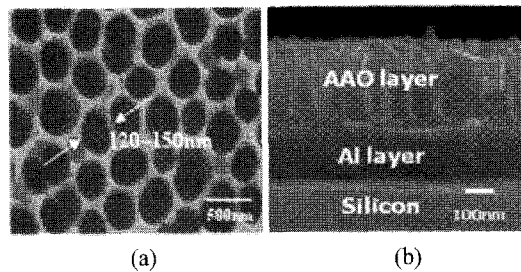


Fig. 3 SEM images of nano hole patterns at (a) top view and (b) cross section view on AAO mold

2.4 폴리머 몰드 제작 기술

폴리머 몰드는 낮은 제작 비용 및 비교적 쉽게

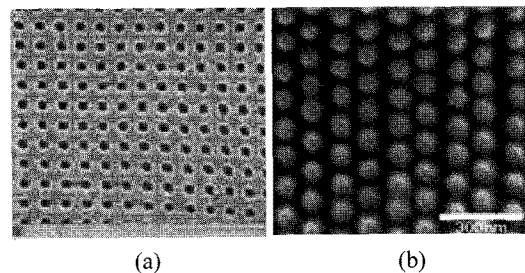


Fig. 4 SEM images of (a) nano hole patterns and (b) nano pillar patterns with 50nm diameter and 100nm pitch on replicated polymeric molds

제작이 가능하다는 등의 장점이 있다.⁵ 이는 다양한 나노 패턴 제작 방법으로 제작한 나노 몰드를 마스크로 이용한 나노임프린팅 공정으로 제작이 가능하기 때문이다. 그림 4 에서 나노임프린팅 공정을 통해 제작된 폴리머 몰드를 볼 수 있다.^{1,2}

2.5 전기주조 공정 기술

금속은 내구성, 기계적 강도 및 화학적 안정성 등에서 나노 몰드로 사용되기에 적합한 특징을 지니고 있다. 이러한 금속으로 나노 몰드를 저가에 제작할 수 있는 방법은 여러 나노 패턴 제작방법들로 제작된 초기 나노 패턴상에 전도층 증착 후 전기주조 공정을 거치는 것이다. 그림 5 에서 전기주조 공정을 통하여 제작된 금속 몰드를 확인할 수 있다.⁶

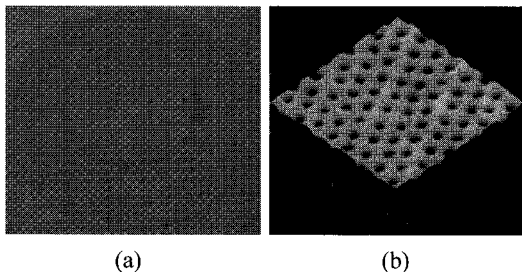


Fig. 5 (a) Metallic mold with full tracks having track width of 1.3mm and track inner diameter of 40mm. and (b) AFM image of nano hole array pattern with 30nm diameter, 50nm pitch and 30nm depth on metallic mold

2.6 이형층 형성 기술

나노 복제 공정기술을 이용한 패턴의 성형에 있어서 몰드 표면과 폴리머 사이에 형성되는 접촉현상 등의 계면 현상은 성형되는 폴리머 패턴의 표면 품질 및 형상 특성에 중요한 영향을 미친다. 이에 나노 복제 공정 진행전 이형층을 나노 몰드 상에 증착하여 표면 에너지를 감소시킴으로 이형특성을 향상시키는 기술이 요구된다.⁷ 그림 6(a)에서와 같이 이형층으로 사용 가능한 자기조립단분자막은 기관과 화학적으로 반응하는 부분, 몸통부분, 표면특성을 나타내는 부분으로 구성되어있으며 나노 몰드의 재질에 따라 다양한 재료를 이형층으로 사용할 수 있다. 그림 6(b)와 그림 6(c)는 각각 silane 계열, thiol 계열의 자기조립단분자막이 실리콘 기관과 니켈 기관에 형성된 것을 나타낸 것이며 그림 6(d)는 폴리

머 몰드의 이형 특성 향상을 위해 도포 가능한 octafluorocyclobutane 의 화학 구조도이다.^{1,2,6-8}

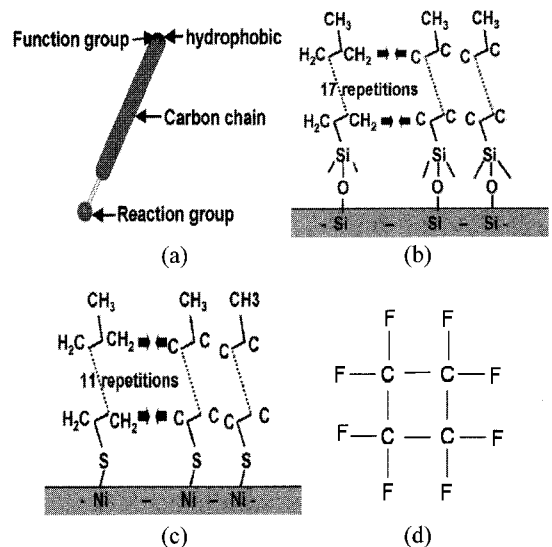


Fig. 6 (a) Schematic organization of self-assembled monolayer(SAM), (b) schematic structures of fluorooctatrichlorosilane monolayer on the silicon substrate and (c) n-dodecanethiol monolayer on the nickel substrate, and (d) schematic chemical structure of octafluorocyclobutane

3. 나노 패턴 복제 공정 기술

3.1 자외선 나노임프린팅 공정

자외선 나노임프린팅 기술은 광경화 폴리머를 자외선을 이용하여 경화시켜 나노 몰드 상의 나노 패턴을 기관상에 전사하는 방법이다.^{5,6,9,10} 이 기술은 상온 및 저압 조건에서 공정 진행이 가능해, 공정 시간의 단축과 다양한 재료의 나노 몰드를 사용할 수 있는 장점을 지닌다. 그림 7 에서 자외선 나노임프린팅 공정을 통하여 제작된 나노 패턴들을 볼 수 있다.^{6,10}

3.2 열 나노임프린팅 공정

열 나노임프린팅 공정은 나노 몰드를 폴리머 레지스트 상에 압착하며 폴리머의 유리화온도 이상으로 가열한 후 냉각과정을 거치는 것이다. 이 과정에서 폴리머 레지스트 표면에 나노 몰드의 나노 패턴 형상이 복제된 후, 폴리머 레지스트 층과 나노 몰드가 이형된다. 그림 8 은 서로 다른 온도 조건에서

제작된 나노 패턴을 보여준다.⁴

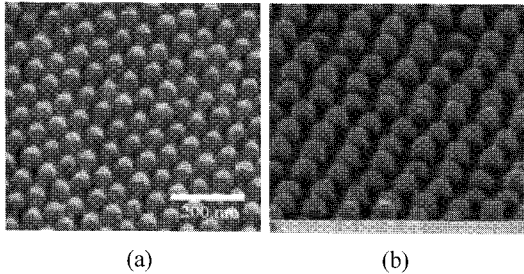


Fig. 7 SEM images of nanoimprinted nano pillar patterns with (a) 30nm diameter and 50nm pitch and (b) 35nm diameter and 70nm pitch.

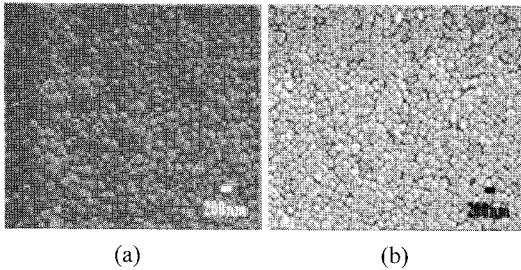


Fig. 8 SEM images of replication results with respect to temperature. (a) 120°C and (b) 130°C.

3.3 사출성형 공정

사출 성형은 용융시킨 폴리머를 속도와 압력을 주어 성형기의 노즐 구멍을 통해 금형내부 주입하여 금형 내부형상과 반대되는 성형품을 제작하는 것이다. 이는 짧은 공정 사이클 타임과 낮은 제작 단가의 장점을 지니고 있어 나노 패턴 제품의 대량 생산에 적합한 성형 공정중의 하나이다. 사출 성형

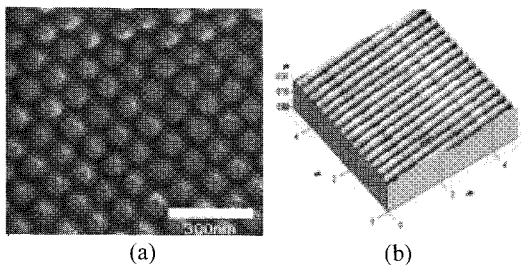


Fig. 9 (a) SEM image of injection molded nano pillar patterns with 50nm diameter and 100nm pitch and (b) AFM image of groove pattern with 320nm pitch

을 이용한 나노 패턴의 제작에는 고화층 성장을 제어할 수 있는 기술이 요구되며 금속 볼드 가열 기술을 적용한 사출 성형 공정 기술이 이에 해당한다.^{2,11} 그림 9 는 사출 성형 공정으로 복제 제작된 나노 패턴을 보여준다.^{2,11}

4. 나노 패턴의 응용 분야

4.1 자기정보저장매체

자기정보저장매체 중 패턴드 미디어(patterned media)는 일정한 방향의 자성을 갖는 나노 크기의 자성 패턴을 제작함으로써, 기존의 연속적인 자성 박막을 이용하여 정보를 저장하는 방식이 지닌 초상자성 효과 및 노이즈 문제를 해결할 수 있는 차세대 자기정보저장매체이다. 그림 10 에서 자외선 나노임프린팅 공정 및 사출 성형공정을 통해 제작된 나노 패턴 상에 자성층을 증착하여 나노 자성 패턴을 형성시켜 제작한 패턴드 미디어를 볼 수 있다.¹²

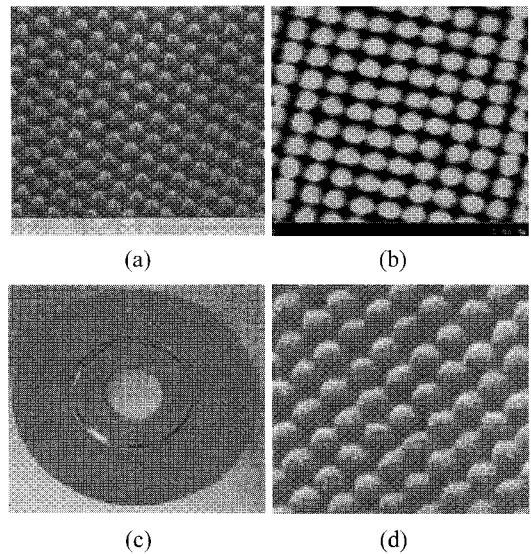


Fig. 10 (a) SEM image of UV nanoimprinted polymeric nano pillar patterns with diameter of 50 nm and pitch of 100 nm and (b) MFM image at the remanent state after magnetic saturation of magnetic nano pillar pattern with magnetic layers, (c) fabricated patterned media with 85 mm diameter using injection molding process and deposition of magnetic layers and (d) SEM image of injection molded polymeric nano pillar patterns with magnetic layers

4.2 광정보저장매체

빛에 의해 정보를 기록과 재생할 수 있는 광정보저장매체는 digital versatile disk(DVD), blu-ray disc 등의 다양한 종류가 있다. 정보화에 따라 저장용량의 증대가 지속적으로 요구되고 있으며 이에 따라 기록밀도가 증가하고 광정보저장매체 내 패턴의 크기가 감소하고 있다. 그림 11 에서 사출성형 공정을 통해 제작된 blu-ray disc 를 볼 수 있다.¹²

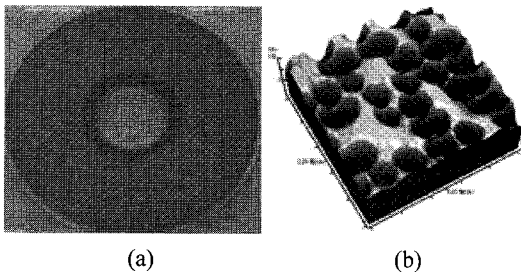


Fig. 11 (a) fabricated blu-ray disc and (b) AFM image of injection molded patterns on blu-ray disc

4.3 광학표면

광학표면 중 반사방지면은 다양한 디스플레이 패널, LED 소자, 태양전지 및 광 검출기 등에 널리 사용되고 있다.¹³ 일반적으로 사용되고 있는 반사방지면은 낮은 굴절율을 지닌 광학 재료를 이용하여 단층 또는 다층으로 코팅하여 구현한다. 반사 방지막의 구현을 위한 다른 방법은 모스 아이 (moth eye) 구조의 나노 패턴을 표면에 제작하는 것이다. 모스 아이 구조는 평균 굴절율이 점진적으로 변화하기 때문에 빛이 들어오는 입사각에 관계없이 빛의 반사를 최소화 할 수 있다. 그림 12 에서 나노 패턴을 이용하여 제작한 반사방지면의 유무에 따른 육안을 통한 투과율 비교 및 투과율 측정을 통한 비교를 통해 반사방지면이 제작된 기판에서 투과율이 향상됨을 볼 수 있다.^{4,12}

5. 결론

본 논문에서는 짧은 공정 사이클 타임과 낮은 제작단가 등의 장점으로 나노 패턴의 대량 생산에 적합한 나노 복제 공정기술 및 이에 필요한 관련 요소기술과 나노 패턴의 응용분야에 대하여 소개하였다.

먼저 나노 패턴의 복제 성형 공정에 사용될 다양한 나노 몰드 제작 기술로 전자빔 리소그래피, 집

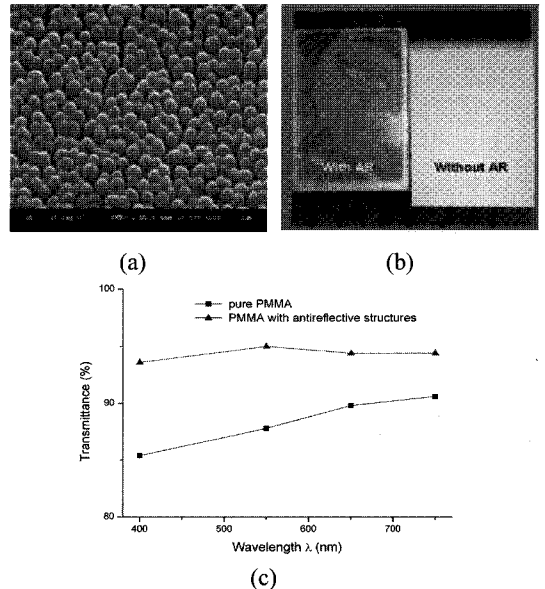


Fig. 12 (a) SEM image of replicated antireflective nano structures, (b) comparison result of light transmittance between with and without antireflective nano structures on PMMA substrate and (c) measured transmittance curves

속이온빔, 알루미늄 양극산화, 전기주조 등의 기술을 보였고 나노 몰드의 이형특성 향상기술로 자기조립단분자막을 이용하는 방법을 소개하였다. 이후 나노임프린팅 공정 기술과 사출 성형 공정 기술 등 다양한 나노 패턴의 복제 제작 기술을 설명하고 제작된 나노 패턴의 자기정보저장매체, 광정보저장매체, 광학표면 등으로의 여러 응용 예를 소개하였다.

나노 패턴의 응용 영역 및 수요 증가에 대응하여 나노 패턴 복제 공정에 관한 원천기술과 응용기술에 대한 연구가 진행되고 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21 세기 프론티어연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원(M102KN010005-08K1401-00510)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Han, J., Yang, J., Shin, S., Kim, Y. and Kang, S., "Design and Fabrication of Perpendicular Patterned

- Magnetic Media Using Nanoimprinted Nano Pillar Patterns,” IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45, No. 5, pp. 2288-2291, 2009.
2. Lee, N., Han, J., Lim, J., Choi, M., Han, Y., Hong, J. and Kang, S., “Injection Molding of Nanopillars for Perpendicular Patterned Magnetic Media with Metallic Nanostamp,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 3, pp. 1803-1805, 2008.
 3. Lee, H., Han, J., Min, B. and Lee, S., “Simulation of Focused Ion Beam Processes for Micro-Nano Machining,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 44-49, 2008.
 4. Shin, H., Kwon, J., Seo, Y. and Kim, B., “Fabrication of Polymer Master for Antireflective Surface Using Hot Embossing and AAO Process,” International Journal of Modern Physics B, Vol. 22, No. 31-32, pp. 5887-5894, 2008.
 5. Koo, N., Plachetka, U., Otto, M., Bolten, J., Jeong, J., Lee, E. and Kurz, H., “The Fabrication of a Flexible Mold for High Resolution Soft Ultraviolet Nanoimprint Lithography,” Nanotechnology, Vol. 19, No. 22, p. 225304, 2008.
 6. Kim, H., Shin, S., Han, J., Han, J. and Kang, S., “Fabrication of Metallic Nano Stamp to Replicate Patterned Substrate using Electron-Beam Recording, Nanoimprinting and Electroforming,” IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45, No. 5, pp. 2304-2307, 2009.
 7. Lee, N., Choi, S. and Kang, S., “Self-assembled Monolayer as an Antiadhesion Layer on a Nickel Nanostamper in the Nanoreplication Preprocess for Optoelectronic Applications,” Applied Physics Letters, Vol. 88, p. 073101, 2006.
 8. Lee, D., Kim, K., Jeong, J., Lee, E. and Choi, D., “The Surface Treatment Effect for Nanoimprint Lithography using Vapor Deposition of Silane Coupling Agent,” Korean Chemical Engineering Research, Vol. 45, No. 2, pp. 149-154, 2007.
 9. Choi, J., Lee, S., Choi, D., Kim, K., Jeong, J. and Lee, E., “Direct UV-imprint Lithography using Conductive Nanofiller-dispersed UV-curable Resin,” Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 26, No. 4, pp. 1390-1394, 2008.
 10. Lim, J., Popall, M. and Kang, S., “Application of Organic/inorganic Hybrid Photopolymer to Fabricate Ultra-high-Density Patterned Substrate,” IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45, No. 5, pp. 2300-2303, 2009.
 11. Kim, Y., Choi, Y. and Kang, S., “Replication of High Density Optical Disc Using Injection Mold with MEMS Heater,” Microsystem Technologies, Vol. 11, No. 7, pp. 464-469, 2005.
 12. Jeong Moon Information. Co., Ltd, <http://www.jmikorea.co.kr>
 13. Hoshino, T., Itoh M. and Yatagai, T., “Antireflective Grating in the Resonance Domain for Display,” Applied Optics, Vol. 46, No. 5, pp. 648-656, 2007.